



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE BIOLOGIA

JUAN CARLOS VEGA GARZÓN

Desenvolvimento e avaliação de um aplicativo de realidade aumentada (RA) para ensino e
aprendizagem do metabolismo

CAMPINAS

2017

JUAN CARLOS VEGA GARZÓN

Desenvolvimento e avaliação de um aplicativo de realidade aumentada (RA) para ensino e aprendizagem do metabolismo

Tese apresentada ao Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Biologia Funcional e Molecular na Área de Bioquímica.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DO ALUNO JUAN CARLOS VEGA GARZÓN,
E ORIENTADA PELO PROF. DR. EDUARDO GALEMBECK.

Orientador: EDUARDO GALEMBECK.

CAMPINAS

2017

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.
ORCID: <http://orcid.org/http://orcid.org/00>

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Biologia
Mara Janaina de Oliveira - CRB 8/6972

V521d Vega Garzón, Juan Carlos, 1974-
Desenvolvimento e avaliação de um aplicativo de realidade aumentada (RA) para ensino e aprendizagem do metabolismo / Juan Carlos Vega Garzón. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Eduardo Galembeck.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia.

1. Realidade aumentada. 2. Vias metabólicas. I. Galembeck, Eduardo, 1968-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Development and evaluation of an augmented reality (AR) application for teaching and learning of metabolism

Palavras-chave em inglês:

Augmented reality

Metabolic pathway

Área de concentração: Bioquímica

Titulação: Doutor em Biologia Funcional e Molecular

Banca examinadora:

Eduardo Galembeck [Orientador]

Bayardo Baptista Torres

Claudio Chrysostomo Werneck

Gildo Giroto Júnior

Vera Maria Treis Trindade

Data de defesa: 15-09-2017

Programa de Pós-Graduação: Biologia Funcional e Molecular

Campinas, 15 de Setembro de 2017

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Galembeck.

Prof. Dr. Bayardo Baptista Torres.

Prof. Dr. Claudio Chrysostomo Werneck.

Profa. Dra. Vera Maria Treis Trindade.

Prof. Dr. Gildo Giroto Júnior.

Os membros da Comissão Examinadora acima assinaram a Ata de Defesa, que se encontra no processo de vida acadêmica do aluno.

Dedico este trabalho a
Carolina, Juan Emilio, Simon
aos meus pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Dr. Eduardo Galembeck, por me orientar. A todos os integrantes do Laboratório de Tecnologia Educacional, em especial a Rodrigo Takase, Gabriel Cuculi e Marcio Magrini, ao Instituto Colombiano de Crédito Educativo y Estudios Técnicos en el Exterior (ICETEX) e ao Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (COLCIENCIAS) pela bolsa de Doutorado.

RESUMO

O metabolismo e as vias metabólicas constituem um dos conceitos centrais fundamentais de bioquímica. Estima-se que as células humanas têm cerca de 3000 tipos diferentes de reações metabólicas. Muitos estudantes as aprendem como um exercício de memorização e pior ainda, muitos professores ensinam o metabolismo desta maneira. Repetir de memória os passos das vias metabólicas não faz muito sentido na compreensão de suas implicações biológicas. A aprendizagem das vias metabólicas deve centrar-se na compreensão de alguns conceitos gerais e princípios básicos. Os alunos devem aprender que uma via metabólica é essencialmente um modelo conceitual de reações químicas concatenadas e catalisadas por enzimas, que regulam/levam o fluxo e troca de compostos e energia dentro de uma célula.

Com o objetivo de ajudar no desenvolvimento de habilidades de literacia visual desejáveis para entender e representar conceitos bioquímicos relacionados com a aprendizagem de vias metabólicas, criamos um aplicativo de realidade aumentada chamado *Augmented Reality Metabolic Pathways* (ARMET). O Aplicativo é projetado para oferecer aos alunos uma ferramenta de aprendizagem inovadora usando o poder da tecnologia móvel em um ambiente onde os alunos sejam menos dependentes da orientação do professor. O ARMET pode funcionar como uma excelente ferramenta de *feedback* para professores e estudantes. Sua plataforma *online* oferece uma grande variedade de informações sobre o desempenho dos alunos.

O ARMET permite aos alunos visualizar em 3D a estrutura molecular de substratos e produtos e perceber as mudanças de cada molécula através de uma via metabólica. As modificações estruturais das moléculas permitem entender os princípios básicos sobre o fluxo e troca de compostos e energia através do metabolismo. Durante a aula usando ARMET têm sido observadas várias habilidades desejáveis nos alunos, tais como debate acadêmico, avaliação por colegas, aprendizagem colaborativa e significativa e o desenvolvimento de habilidades de literacia visual, características essenciais para interpretar modelos moleculares e mapas metabólicos. Essas habilidades facilitam criar modelos mentais para entender conceitos bioquímicos. ARMET fornece para os professores métricas mais transparentes e consistentes para sistematizar critérios e indicadores que reduzem a subjetividade do processo de avaliação. Com esta tecnologia, o professor pode verificar em tempo real o desempenho de cada aluno e determinar seu progresso, identificar onde ocorrem erros e até mesmo realizar uma investigação exaustiva das suas possíveis causas, proporcionando uma melhor ferramenta educacional para estabelecer uma avaliação formativa eficaz para o ensino do metabolismo.

Palavras-chaves: Realidade aumentada, Vias metabólicas, Analíticas de aprendizagem.

ABSTRACT

Metabolism and metabolic pathways constitute one of the central aims of foundational biochemistry concepts. It is estimated that human cells have about 3000 different types of metabolic reactions. Many students learn the metabolic pathways as an exercise of memorization and many professors teach the metabolism in this manner. The mere repetition of metabolic pathways steps does not make much sense in the understanding of their biological implications. Learning metabolic pathways must be focused on the understanding of few general concepts and basic principles. Students should learn that a metabolic pathway is essentially a conceptual model of concatenated chemical reactions catalyzed by enzymes, that regulates/drives the flow and exchange of compounds and energy within a cell.

To improve motivation and to promote student interactivity with the development of desirable skills of visual literacy and regarding the learning of metabolic pathways, we designed an application named Augmented Reality Metabolic Pathways (ARMET). This App is designed to offer the students an innovative learning tool using the power of mobile technology. Our objective is to promote an environment where students are less dependent on the professor's guidance. It is possible to assemble an entire metabolic pathway through the feedbacks and hints given by ARMET. ARMET can work as a great feedback tool for professors and teachers. Its unique online platform provides a great variety of information about the students' performance.

Interaction with virtual 3D molecules allowed students to visualize the molecular structure of substrates and products, and perceive changes in each molecule through the metabolic pathway. The structural modifications of molecules allow learning the basic principles about the flow exchange of compounds and energy through metabolism. During the class, activity using ARMET it has been observed several desirable skills in students, such as academic debate, peer review, collaborative learning, meaningful learning and development of visual literacy skills essential characteristics for interpreting molecular models and metabolic maps. These skills empower the ability to create mental models to understand biochemical concepts. ARMET for teachers provides both transparent consistent evaluation allowing them to systematize criteria and indicators to reduce the subjectivity of assessments' process. With this technology, it is possible to verify in real time the performance of each student and determine student progress, identify where errors occur and also conduct a thorough investigation of possible causes providing a better pedagogical tool to establish an effective formative assessment for metabolism teaching.

Keywords: Augmented reality, Metabolic pathways, Learning analytics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Desenvolvimento do ARMET	26
4.2 Avaliação do ARMET	36
4.2.1 Avaliação de visibilidade e aceitação do ARMET	36
4.2.2 Avaliação de usabilidade do ARMET	39
4.2.3 Avaliação de utilidade do ARMET.....	42
4.3 Avaliação de questões e questionários.....	43
4.3.1 Base de dados do ARMET.....	43
4.3.2 Conexão da Base de dados do ARMET com o RSTUDIO	44
4.3.3 Análises estatísticas	45
5. VRMET.....	64
6. CONCLUSÕES	71
7. REFERÊNCIAS.....	73
8. ANEXOS	77

1. INTRODUÇÃO

O espírito das ciências da vida é explicar tanto quanto possível quais são os elementos, mecanismos, interações e processos que contribuem para que a vida seja o que é, uma entidade capaz de nascer, crescer, reproduzir e morrer: “o ciclo mágico da vida” (Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular 2004).

Sem dúvida, a bioquímica está na raiz de todas essas questões e é uma disciplina obrigatória para todos os alunos nas ciências da vida. Mas muitos estudantes consideram que a bioquímica é um exercício de memorização. Pior ainda, alguns professores apresentam o assunto desta maneira. A bioquímica moderna é muito mais que um catálogo de estruturas moleculares e reações químicas. A química da vida tem que unificar os princípios e conceitos, como Lehninger a descreveu "a lógica molecular dos organismos vivos." (Epp, 1985).

É por isso que profissionais e organizações estão preocupados com o seu ensino e aprendizagem há vários anos; as pesquisas em educação bioquímica têm sido publicadas por décadas. Muitos dos estudos podem ser atribuídos a bioquímicos de formação clássica que estavam curiosos sobre o ensino e aprendizagem em sua disciplina, e realizaram projetos de pesquisa para documentar sistematicamente os efeitos das inovações pedagógicas (Offerdahl et al, 2014).

A Comissão do Ensino de Bioquímica reuniu-se em Washington, DC, de 11 a 15 dezembro de 1967, como parte do "OPS/OMS", a fim de fazer recomendações sobre o ensino da bioquímica nas faculdades de medicina da América Latina e para sugerir livros didáticos apropriados para este fim (OPS/OMS, 1967).

A Sociedade Americana de Bioquímica e Biologia Molecular (ASBMB) há muito tempo (cerca de 10-12 anos) reconheceu a natureza mutável da Bioquímica e da Biologia Molecular e das formas que precisam educar os estudantes das ciências da vida, mas não somente estes (Mattos et al, 2013). Ao longo de dois anos, realizou seminários regionais para docentes e educadores de ciências dos Estados Unidos, que se concentraram na identificação de: 1) princípios fundamentais da bioquímica e biologia molecular, 2) os conceitos essenciais e 3) as habilidades fundamentais que os estudantes devem adquirir.

Diante deste cenário, evidenciou-se a necessidade de ensinar as vias metabólicas e promover e tornar mais eficiente o desenvolvimento de ferramentas para a avaliação de seus conceitos fundamentais (Tansey et al, 2013).

As vias metabólicas são, no nível mais básico, um conjunto de transformações químicas sucessivas. Não são apenas um conjunto de nomes, enzimas e estruturas (Schultz, 1997). Assim como não é necessário ensinar todas as vias metabólicas, é melhor ensinar apenas algumas, com ênfase em princípios e conceitos gerais. Cada via metabólica existe por uma razão e os sistemas vivos catalisam apenas um número limitado de tipos de reações. A verdadeira compreensão destes princípios básicos deve dar ao aluno as ferramentas intelectuais necessárias para explorar novas áreas através de livros didáticos, interações pessoais com especialistas, ou disciplinas (Brosemer, 1989).

Para tentar entender a forma como a bioquímica é ensinada e aprendida, o professor Harold B. White do departamento de química e bioquímica da Universidade de Delaware (USA) usou o enovelamento de proteínas como analogia pedagógica (White, 1998).

“Nos Estados Unidos e provavelmente em outros lugares, os alunos veem a estrutura primária da disciplina - mas é como uma proteína desnaturada que não vai ter nenhum significado funcional. Eles veem uma sucessão de tópicos pontuados por exames e esperam uma qualificação final... Os alunos queixam-se de aulas chatas e com sobrecarga de informações... Mas professores talentosos podem funcionar como 'chaperonas' e dobrar as informações em construções terciárias e quaternárias significativas para os estudantes”

Em 2013 o professor White ampliou sua analogia pedagógica para descrever o processo ensino-aprendizagem da bioquímica usando o conceito de Dogma Central da Biologia Molecular como um modelo para um Dogma Central de Ensino. Equiparou o DNA aos livros didáticos, o RNA às notas de aula do professor e as proteínas às notas dos alunos que têm que ser processadas para se tornar funcional, “ter significado” (White, 2013).

Os autores e editores de livros didáticos selecionam o conteúdo e fazem a evolução e replicação dos livros. Cada livro didático "espécie" difere um pouco dos outros em sua ordem de capítulos (genes) pela deleção ou inserção de determinados temas. No entanto, os conteúdos básicos são semelhantes e o índice (genoma) compartilham muitas características (exons), mas faltam outras (introns).

Os professores selecionam os livros didáticos e decidem quais informações devem ser apresentadas em seus cursos (notas de aula), como a RNA polimerase operando em DNA, eles selecionam o material do livro. Às vezes capítulos inteiros são omitidos (promotor fraco)

e outras vezes apenas algumas partes dos capítulos são usadas na palestra (*splicing* e *exon skipping*) mas muito é deixado fora.

Os alunos tentam traduzir a informação (mensagem) apresentada, mas é em uma língua que eles não entendem. Leva tempo para os padrões surgirem e começarem a ter sentido, como o enovelamento de uma proteína que requer outras interações secundárias, terciárias e quaternárias adequadas combinam-se para dar sentido à cadeia polipeptídica linear como é apresentado na Figura 1.

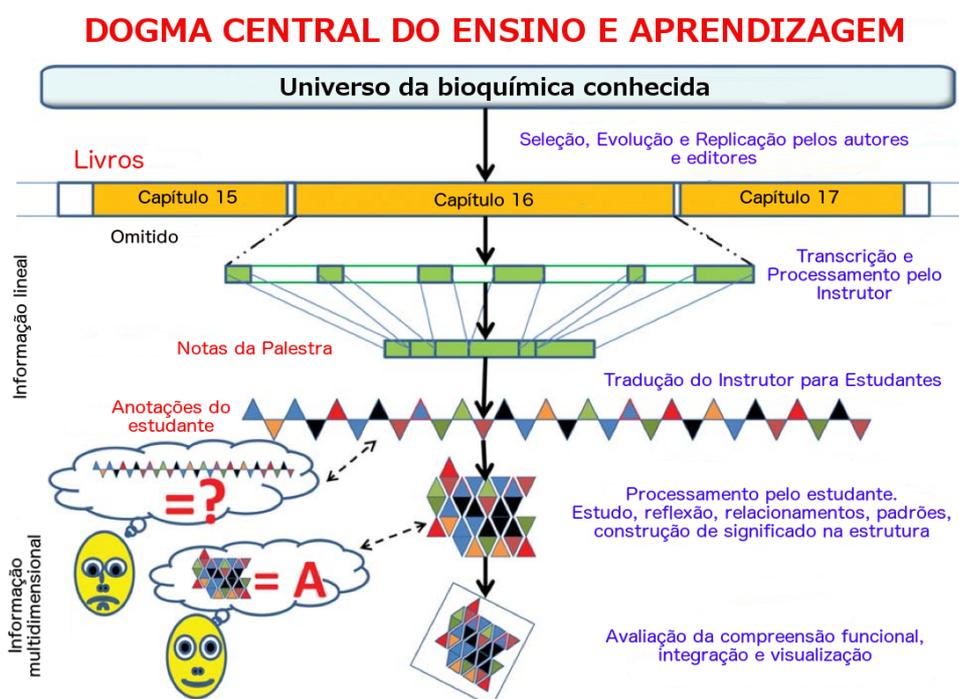


Figura 1. Um modelo para o ensino baseado em aulas tradicionais em bioquímica e biologia molecular baseado no Dogma Central da Biologia Molecular. Adaptado de White, 2013.

Alterar a ênfase na educação, do ensino pelo professor para a aprendizagem pelo aluno é uma necessidade. A outra grande mudança que deve ocorrer é a mudança dos métodos de ensino baseados principalmente na aprendizagem passiva através de palestra e livros de receitas nas práticas de laboratório, mas é necessário um esforço para gerar materiais que irão promover este novo tipo de aprendizagem (Castaño, 2004). Os bons velhos tempos de "memorizar ou perecer" já se foram.

Existe uma grande quantidade de pessoas e instituições envolvidas com o desenvolvimento e avaliação destes novos métodos e materiais que permitirão uma mudança de paradigma de ensino/aprendizagem. Um exemplo é o *The New Media Consortium* (NMC),

uma comunidade internacional de especialistas em tecnologia educacional, fundada em 1993 composta por mais de 300 universidades e museus de prestígio, que publica desde 2002 o *NMC Horizon Report*, uma série destinada a auxiliar o corpo docente a entender as novas e emergentes tecnologias e seu potencial impacto sobre o ensino, aprendizagem e pesquisa criativa em educação em escala global. Dentro do Projeto Horizon existem atualmente sete categorias de tecnologias, ferramentas e estratégias com o potencial de promover mudanças reais na educação, particularmente no desenvolvimento de pedagogias progressivas e estratégias de aprendizagem. Os quatro últimos relatórios (Johnson et al, 2013, 2014, 2015, 2016) apontam várias tecnologias emergentes que irão impactar significativamente ao longo dos próximos anos. Entre as tecnologias mais notáveis estão as tecnologias de visualização (Figura 2).

Consumer Technologies

- > 3D Video
- > Electronic Publishing
- > Mobile Apps
- > Quantified Self
- > Tablet Computing
- > Telepresence
- > Wearable Technology

Digital Strategies

- > BYOD
- > Flipped Classroom
- > Games and Gamification
- > Location Intelligence
- > Makerspaces
- > Preservation/Conservation Technologies

Internet Technologies

- > Cloud Computing
- > The Internet of Things
- > Real-Time Translation
- > Semantic Applications
- > Single Sign-On
- > Syndication Tools

Learning Technologies

- > Badges/Microcredit
- > Learning Analytics
- > Massive Open Online Courses
- > Mobile Learning
- > Online Learning
- > Open Content
- > Open Licensing
- > Personal Learning Environments
- > Virtual and Remote Laboratories

Key Emerging Technologies

Social Media Technologies

- > Collaborative Environments
- > Collective Intelligence
- > Crowdfunding
- > Crowdsourcing
- > Digital Identity
- > Social Networks
- > Tacit Intelligence

Visualization Technologies

- > 3D Printing/Rapid Prototyping
- > Augmented Reality
- > Information Visualization
- > Visual Data Analysis
- > Volumetric and Holographic Displays

Enabling Technologies

- > Affective Computing
- > Cellular Networks
- > Electro vibration
- > Flexible Displays
- > Geolocation
- > Location-Based Services
- > Machine Learning
- > Mobile Broadband
- > Natural User Interfaces
- > Near Field Communication
- > Next-Generation Batteries
- > Open Hardware
- > Speech-to-Speech Translation
- > Statistical Machine Translation
- > Virtual Assistants
- > Wireless Power

Figura 2. Categorias de tecnologias, ferramentas e estratégias do projeto Horizon. Tomado de (Johnson et al, 2014).

A pesquisa educacional tem mostrado que a percepção visual é o sentido mais desenvolvido em seres humanos e é uma maneira importante pela qual aprendemos. A visualização ajuda a compreensão dos alunos de processos complexos, porque permite a conversão de um conceito abstrato em um objeto visual específico que pode ser mentalmente manipulado (McClellan et al, 2005).

A visualização é uma habilidade essencial para todos os estudantes de bioquímica e deveria ser explicitamente ensinada para adquirir habilidades de literacia visual. A literacia visual (*visual literacy*) é a capacidade de compreender (ler) e usar (escrever) imagens, de pensar e aprender usando imagens (estáticas ou em movimento). A literacia visual e visualização são componentes chave de aprendizagem na bioquímica, porque os fenômenos moleculares são impossíveis de se visualizar, são abstratos e não derivam da experiência. A bioquímica utiliza modelos que são apenas representações de fenômenos científicos. No mundo científico, vêm aumentando o uso de modelos dinâmicos. Várias pesquisas têm mostrado que animações de processos moleculares são melhores ferramentas de ensino quando são comparadas com diagramas ou textos estáticos (McClellan et al, 2005). No entanto, alguns pesquisadores têm demonstrado que as animações podem causar dificuldades de aprendizagem devido a fatores como a falta de habilidades de linguagem visual (Townsend et al, 2012). A importância pedagógica do ensino visual tem sido ignorada e os professores/alunos não necessariamente, adquirem essas habilidades durante seus cursos de bioquímica. Compreender modelos dependem da linguagem visual que não é natural e tem que ser aprendida (Schonborn et al, 2006).

Pesquisas têm demonstrado que as tecnologias educacionais podem ser úteis para desenvolver habilidades de literacia visual (Mnguni e Schönborn, 2016). As novas tecnologias estão mudando o significado de ser alfabetizado no século 21. A capacidade de interpretar e criar informações visuais é uma forma de alfabetização tão básica quanto ler e escrever textos. No entanto, a maioria dos programas acadêmicos são centrados na leitura e escrita de palavras (Bleed, 2005).

Entre essas tecnologias, as de visualização podem ser particularmente úteis para explicar processos, que facilitam a compreensão de conceitos abstratos. A realidade Aumentada (RA) é um exemplo de tecnologia que pode ter um grande potencial na educação em bioquímica.

“A realidade aumentada é uma tecnologia que possibilita trazer informações virtuais interativas, geradas por computador, ao espaço físico do usuário, envolvendo anotações, sons e objetos 3D, por meio de algum dispositivo tecnológico, como monitor, capacete, tablets, smartphones, etc. O potencial educacional dessa tecnologia é bastante alto, na medida em que ela pode ser usada em atividades presenciais e remotas, potencializando o ambiente real com informações virtuais interativas, produzindo laboratórios virtuais mais realistas, trabalhos colaborativos mais estimulantes, jogos educacionais motivadores, etc” (Kirner et al, 2012).

Ao combinar as potencialidades da realidade aumentada com a tecnologia de analíticas de aprendizagem¹ (*Learning analytics*) pode-se criar softwares para dispositivos móveis que coletam e usam dados específicos para cada aluno, que sirvam de apoio e atendem às necessidades de aprendizagem distintas, e fornecem sugestões e ajustes cuidadosamente calculadas para manter a motivação dos alunos, avaliar os sucessos (dominar conceitos) ou obstáculos encontrados, proporcionando-lhes um *feedback* imediato para fazer ajustes na entrega de conteúdo e formato (Johnson et al, 2013).

A metodologia mais adequada para a avaliação deste tipo de ferramentas aplicadas a estudos educacionais é a pesquisa baseada em design já que está relacionada ao desenvolvimento de um produto/artefato pedagógico. É importante ressaltar que os artefatos pedagógicos não são necessariamente produtos materiais, como livros didáticos, jogos, software, mas incluem também processos, como atividades, currículos e teorias específicas sobre ensinar e aprender (Ramos et al, 2010).

“Para esse tipo de metodologia, criou-se o termo “ecologia de aprendizagem” no sentido de representar um sistema complexo e interativo envolvendo múltiplas variáveis de diferentes tipos e níveis. Nessa “ecologia de aprendizagem” devem-se levar em consideração as questões a serem propostas aos sujeitos de pesquisa além do discurso a ser desenvolvido, os materiais que serão utilizados, as ferramentas e os significados das relações entre todos esses elementos” (Lobo da Costa e Poloni 2011).

A Pesquisa baseada em Design é um referencial introduzido no campo educacional por (Collins, 1990) e (Brown, 1992) e tem três características principais (Ramos et al, 2010):

- 1. Pragmática, já que integra teoria e prática, assumindo a relevância do papel da teoria para fundamentar e melhorar a prática e vice-versa.*
- 2. Ancorada, já que a proposta de desenvolvimento de tecnologias de aprendizagem deve estar orientada e fundamentada em pesquisas relevantes, teoria e prática e os estudos são conduzidos em contextos reais de prática (com atores reais, resolvendo problemas reais).*

¹ “ Analíticas aprendizagem têm sido definidas como a coleta, medição, análise e geração de relatórios de dados sobre os alunos e seus contextos, para fins de compreensão e otimização da aprendizagem no ambiente em que ela ocorre” (Broadfoot et al, 2013).

3. *Interativa, iterativa e flexível* - uma vez que o processo desenvolve-se em ciclos entre pesquisa e desenvolvimento com a participação de todos os atores (alunos, professores e equipe de desenvolvimento) e os produtos educacionais desenvolvidos devem comportar mudanças ao longo do processo de pesquisa. Como pode ser observado na Figura 3.

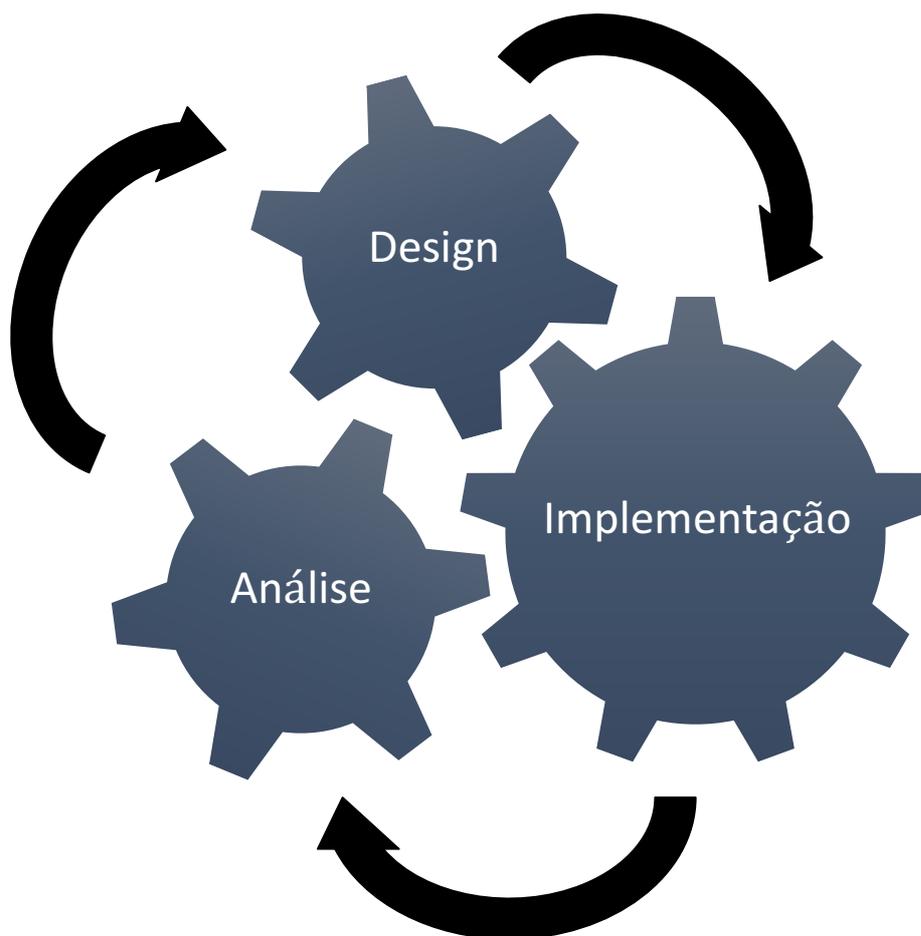


Figura 3. Observa-se que, no ciclo, existem momentos de preparação seguidos de momentos de implementação e análise, que podem gerar modificações no experimento para um novo ciclo.

A pesquisa baseada em design utiliza os resultados do primeiro experimento (microciclo 1) para o design do próximo experimento (microciclo 2) que se deseja fazer. A vantagem dessa metodologia é que a cada experimento tem-se a chance de se fazer análises, reflexões e modificações, ou seja, tem-se a chance de um *redesign* dos próximos experimentos (Rinaudo e Donolo, 2010; Lobo da Costa e Poloni, 2011). Como é apresentado na Figura 4.

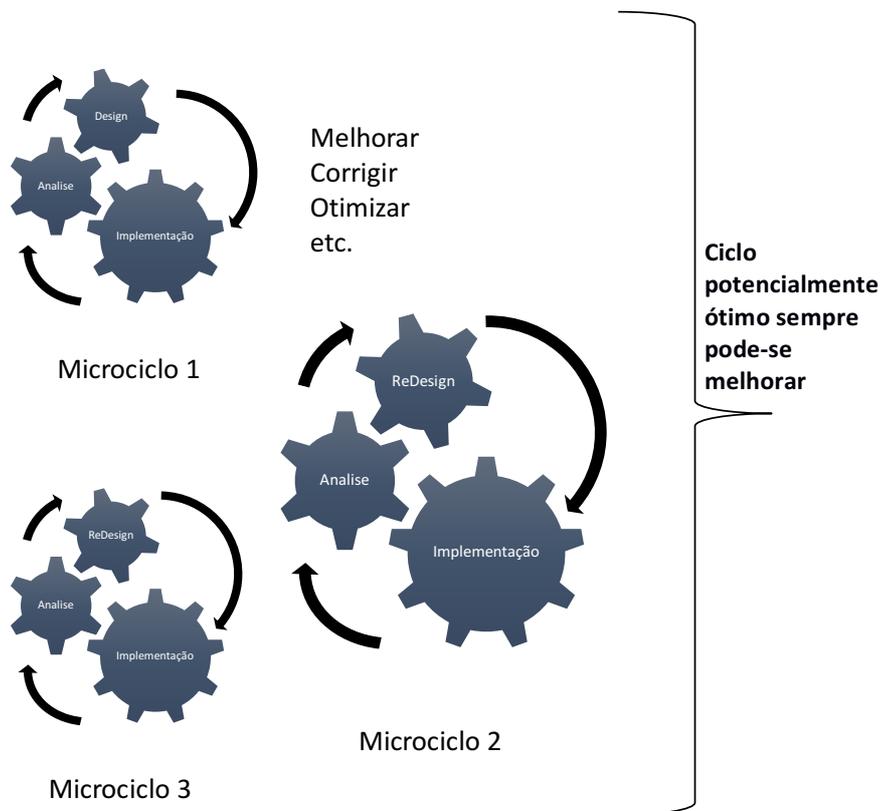


Figura 4. Observa-se que em cada microciclo as análises realizadas durante a fase de implementação, as alterações introduzidas e as análises retrospectivas levam a postular um ciclo potencialmente ideal, que é diferente da proposta inicial.

A fim de ajudar no desenvolvimento de habilidades desejáveis de literacia visual para entender e representar conceitos bioquímicos relacionados com a aprendizagem de vias metabólicas, nós propusemos o desenvolvimento de um aplicativo que agrega duas tecnologias promissoras a realidade aumentada (*Augmented reality*) e analíticas de aprendizagem (*Learning analytics*). A metodologia de pesquisa que vai ser utilizada para avaliar o aplicativo e seu uso é a pesquisa baseada em design (*Design-Based Research*).

Trata-se de uma pesquisa aplicada, experimental com elementos qualitativos e quantitativos.

2. OBJETIVOS

- Desenvolvimento de um aplicativo de realidade aumentada para ensino e aprendizagem do metabolismo.
- Avaliar a visibilidade/aceitabilidade do aplicativo de realidade aumentada desenvolvido para ensino e aprendizagem do metabolismo.
- Avaliar a usabilidade do aplicativo de realidade aumentada desenvolvido para ensino e aprendizagem do metabolismo.
- Avaliar a percepção da utilidade do aplicativo de realidade aumentada desenvolvido para ensino e aprendizagem do metabolismo.
- Avaliar o comportamento de questões e questionários do aplicativo de realidade aumentada desenvolvido para ensino e aprendizagem do metabolismo.
- Disponibilizar uma ferramenta avaliada para ser usada no ensino de metabolismo por professores de disciplinas relacionadas com as ciências da vida.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa baseada em design utiliza os resultados do primeiro experimento (microciclo 1) para o design do próximo experimento (microciclo 2) que se deseja fazer. Segundo (Steffe e Thompson, 2000), um experimento de ensino envolve uma sequência de episódios. Um episódio de ensino inclui um agente que ensina, um agente que aprende, um ambiente de aprendizagem, uma teoria de domínio, um investigador que testemunha o episódio de ensino, uma ferramenta de ensino, uma equipe que desenvolve, um método de registro, uma ferramenta de análise do que acontece durante o episódio e uma tecnologia de análise para o experimento como é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Componentes episódios de ensino. (Adaptado de Steffe e Thompson, 2000).

Episódio de ensino	
Agente que ensina	Professores de Bioquímica IB-UNICAMP
Agente que aprende	Estudantes disciplinas bioquímica oferecidas pelo IB
Ambiente de aprendizagem	Aprendizagem ubíqua (U-Learning)
Teoria de domínio	Metabolismo
Investigador	Estudante Doutorado BFM-IB-UNICAMP
Ferramenta de ensino	ARMET (<i>Augmented Reality Metabolic Pathways</i>)
Equipe que desenvolve	LTE-IB-UNICAMP
Ferramenta de registro	PHP – MySQL
Ferramenta de análise	Software R
Tecnologia de análise	Analíticas de aprendizagem (<i>Learning analytics</i>)

IB (Instituto de Biologia), UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas), BFM (Doutorado em Biologia Funcional e Molecular), LTE (Laboratório de Tecnologia Educacional).

Cada experimento apresentou três fases: Primeira fase: elaboração do design. Segunda fase: Implementação do design. Terceira fase: Análise retrospectiva.

Primeira fase - Elaboração do design: nesta fase foi definida a teoria instrucional de domínio, as metas de aprendizagem e foi desenvolvido o ambiente de aprendizagem, o design instrucional e as ferramentas de ensino, registro e análise que foram utilizadas na fase de implementação.

As teorias instrucionais de domínio vêm da análise conceitual de noções que são consideradas importantes dentro de uma área ou domínio do conhecimento, como, por exemplo, a noção de evolução em biologia, o movimento em física ou a distribuição em estatística. Para esta pesquisa foi escolhida como teoria de domínio o metabolismo já que uma compreensão adequada do metabolismo permitiria integrar os conceitos fundamentais da bioquímica.

Para ajudar os alunos a compreender a teoria de domínio foi escolhida como meta aprendizagem as vias metabólicas como é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Conceitos e metas de aprendizagem escolhidas para compreender a teoria de domínio.

Teoria de domínio	Metabolismo (A lógica molecular dos organismos vivos)
Meta de Aprendizagem	Vias metabólicas
Conceitos essenciais	Substrato, produto, tipos de reações e enzimas
Conceitos necessários	Fontes de energia, cinética da reação, estequiometria, cofatores e coenzimas

Como ambiente de aprendizagem foi escolhido a aprendizagem ubíqua (U-Learning).

“Aprendizagem Ubíqua é caracterizada pela prestação de formas intuitivas para identificar colaboradores certos, conteúdos certos e serviços certos no lugar certo, na hora certa, com base no contexto dos alunos, como, onde e quando os alunos estão (tempo e espaço), quais são os recursos de aprendizagem e serviços disponíveis para os alunos, e que são os colaboradores de aprendizagem que atendam às necessidades dos alunos. Como resultado, a eficácia e eficiência da aprendizagem ubíqua depende fortemente do contexto circundante do aluno” (Sung, 2009).

A definição se refere a qualquer ambiente que permite que qualquer dispositivo móvel conecte-se o conteúdo de ensino e aprendizagem (explorar recursos pedagógicos) através de redes sem fio em qualquer lugar e a qualquer momento² (Yahya, 2010). A ubiquidade pode ser compreendida como uma habilidade de comunicação a qualquer tempo e hora, por meio de dispositivos móveis dispersos pelo meio ambiente, permitindo que o acesso aos ambientes não se dê de forma fixa, presa a um desktop³.

² Dadas as dimensões da mobilidade, temos a constituição de espaços criados pelas redes telemáticas sem fio e espaços físicos, chamados por Santaella, de espaços intersticiais, ou seja, misturas inextricáveis entre os espaços físicos e o ciberespaço, possibilitadas pelos dispositivos móveis (Santos & Weber, 2013).

³ As tecnologias comunicacionais fazem emergir, cada uma em seu tempo, processos de aprendizagem distintos, porém não excludentes. Com as tecnologias comunicacionais impressas, temos processos de ensino-aprendizagem baseados no livro didático. Com as tecnologias digitais, em rede, temos processos de ensino-aprendizagem que se dão por meio de ambientes virtuais, e hoje, com a emergência dos dispositivos móveis, processos de ensino-aprendizagem ubíquos (Santos & Weber, 2013).

A ferramenta instrucional desenhada para o projeto são roteiros que especificam em detalhe os objetivos, metodologia e avaliação das atividades propostas (Anexo 1, 2 e 3).

“O design instrucional é a ação intencional e sistemática de ensino, que envolve o planejamento, o desenvolvimento e a utilização de métodos, técnicas, atividades, materiais, eventos e produtos educacionais em situações didáticas específicas, a fim de facilitar a aprendizagem humana a partir dos princípios de aprendizagem e instrução conhecidos” (Filatro e Piconez, 2004).

A ferramenta de ensino desenvolvida é um aplicativo de realidade aumentada chamado *Augmented Reality Metabolic Pathways* (ARMET). ARMET foi desenvolvido utilizando as seguintes etapas:

- Obtenção das moléculas: As moléculas foram obtidas das bases de dados PDB (*Protein Data Bank*) e *ChemSpider*.
- Visualização das moléculas – para a visualização das moléculas construídas ou obtidas foi usado o *software Jmol*.
- Edição das moléculas - para a edição das moléculas obtidas foi usado o *software Blender*.
- Programação – para a programação do aplicativo foi usado o *software UNITY 3D* e o *SDK de Vuforia*.
- A ferramenta de registro é uma base de dados *MySQL*.
- A ferramenta de análise é uma interface programada em linguagem PHP, que permite avaliar de forma gráfica e numérica as estatísticas de uso do aplicativo. Para a análise mais detalhada os dados foram tratados usando o *Software R®*.

Segunda fase - Implementação do design: nesta fase se deve seguir uma sequência iterativa de microciclos de design e análise.

Forma de recrutamento dos alunos: A atividade ocorreu no horário regular de aula, com autorização da instituição e do coordenador da disciplina (Anexo 4). Os alunos foram convidados a participar como voluntários do estudo. Foi entregue para eles o Termo de

Consentimento Livre e Esclarecido e foram resolvidas as dúvidas conforme projeto aprovado pelo CEP da UNICAMP (Anexo 5).

Como a atividade ocorreu em horário letivo, os alunos que não queriam participar da pesquisa puderam participar da atividade usando o aplicativo em modo anônimo que não coleta nenhuma informação pessoal do aluno e não permite sua identificação.

Implementação: Na prática, em uma sala de aula prevista para durar cerca de duas horas, os estudantes foram inicialmente divididos em pequenos grupos (com cerca de cinco integrantes cada) e cada grupo recebeu um tabuleiro do jogo (Anexo 6), um conjunto de cartas com a estrutura química de todos os componentes de uma via metabólica (Anexo 7) e um dispositivo móvel. Cada estudante recebeu um estudo dirigido com orientações sobre como utilizar o dispositivo móvel para montar uma sequência lógica de uma via metabólica (Figura 5).

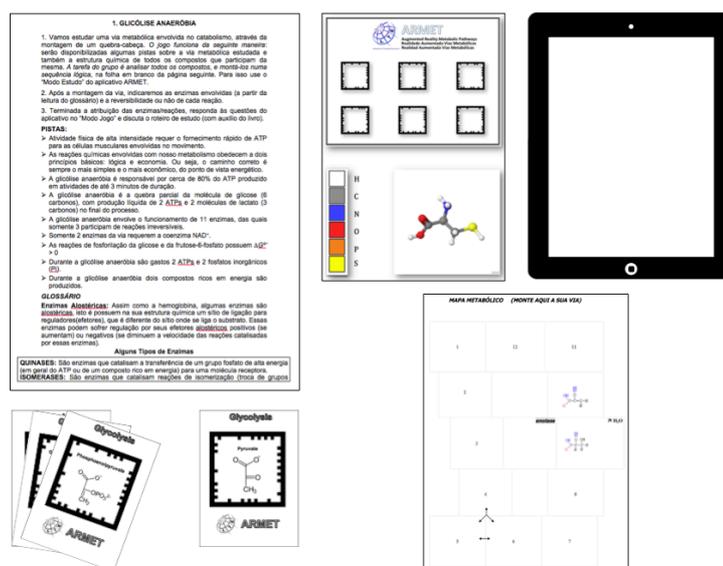


Figura 5: Elementos necessários para realizar a atividade.

A atividade foi realizada sem consulta ao livro-texto ou outra referência; o estudo dirigido traz algumas pistas sobre a via, como o envolvimento de coenzimas em certas reações e o gasto/produção de ATP em outras. Mesmo com a familiaridade no manuseio dos equipamentos, é natural que surjam questões; assim, os estudantes têm à sua disposição, além do professor, em média dois instrutores para fornecer orientações e tirar dúvidas. Além de montar o quebra-cabeças com apoio virtual, eles puderam avaliar seu desempenho checando suas notas ao longo da atividade, além de pistas para orientar a montagem do quebra-cabeças.

O ARMET permite a navegação em dois modos: o modo Jogo, no qual o estudante deve completar a via escolhida com algum elemento faltante, uma molécula; e o modo Estudo, que fornece uma pista que remete para a primeira molécula da via. Dentre todas as cartas disponíveis, o estudante teve que escolher a carta correta para que ele pudesse receber a pista para a próxima molécula, e assim subsequentemente, até que a via seja completada. Em seguida, os alunos jogaram o modo Jogo e puderam fazer várias tentativas para encontrar a resposta correta para as perguntas randomizadas (10 questões são sorteadas por jogo) na tela do dispositivo móvel. Tanto no modo Estudo como no modo Jogo, o aplicativo também é capaz de coletar e armazenar os dados de uso em uma base de dados (MySQL). Tais dados referem-se ao número de tentativas realizadas para chegar às respostas corretas e opções incorretas selecionadas. No modo Jogo é ainda armazenada a pontuação do estudante com base no grau de sucesso para atingir a resposta certa com menor número de tentativas. Dependendo dos resultados, se forneceu sugestões e ajustes cuidadosamente calculados para manter a motivação dos alunos e avaliar os sucessos (domínio de conceitos) ou obstáculos encontrados e se proporcionou *feedback* imediato para fazer ajustes na entrega de conteúdo e formato.

Critério de Inclusão: Estudantes maiores de 18 anos da disciplina metabolismo BB381 do programa de biologia da Universidade Estadual de Campinas.

Nota: A disciplina BB381 é administrada para alunos do 2 ano do programa de biologia. A probabilidade de ter alunos menores de 18 anos é muito baixa; no caso de acontecer eles podem utilizar o ARMET no modo anônimo.

Terceira fase - Análise retrospectiva – nesta fase se deve fazer a análise de todos os dados coletados no experimento. Os dados foram analisados usando o *Software R*®.

Forma de análise dos resultados: Para os dados de implementação foram realizadas análises de estatísticas descritivas usando como indicador a porcentagem de acertos e erros; para a análise retrospectiva foram realizados testes de normalidade e testes de comparação de grupos usando o *software R*®.

Para a avaliação do aplicativo desenvolvido (ARMET) foram usadas quatro estratégias diferentes:

1. Avaliação de visibilidade/aceitabilidade.
2. Avaliação de usabilidade.
3. Avaliação de utilidade.
4. Avaliação de questões e questionários.

Para avaliar a visibilidade/aceitabilidade foi usada a ferramenta *Google Analytics*, essa ferramenta permitiu obter informações como o número de usuários e a distribuição dos usuários no mundo todo.

Para avaliar a usabilidade foi utilizada a escala SUS (System Usability Scale), essa ferramenta permitiu obter informações dos indicadores de facilidade de aprendizagem de uso (facilidade de utilizar o sistema pela primeira vez), eficiência (rapidez para executar as tarefas), facilidade de memorização (o processo de lembrar como utilizar o sistema, após um tempo sem utilizar), minimização dos erros (ausência de erros apresentados pelo sistema) e satisfação (design agradável).

Para avaliar a percepção da utilidade por parte dos alunos foi usado um questionário do tipo Likert; usando como indicador o Valor Escalar foram criadas quatro categorias de utilidade.

Para avaliar a dificuldade e discriminação das questões e questionários e a habilidade dos alunos foi aplicado o modelo RASCH usando os pacotes *mirt* e *ltm* do *software R*® (Matloff, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

ARMET para estudantes: Os estudantes podem se inscrever gratuitamente. O aplicativo é projetado para oferecer aos alunos uma ferramenta de aprendizagem inovadora usando o poder da tecnologia móvel. O objetivo é promover um ambiente onde os alunos sejam menos dependentes da orientação do professor. É possível montar toda uma via metabólica através dos *feedbacks* e sugestões dadas pelo ARMET, sem a utilização de livros de bioquímica. O ARMET foi desenvolvido para fornecer aos alunos as informações essenciais sobre o tópico de bioquímica abordado em dois modos diferentes: Estudo e Jogo. Cada um tem diferentes propostas educacionais.

O modo de Estudo é projetado para fornecer ao aluno informações relevantes sobre as vias metabólicas. Existem três opções disponíveis: Glicólise, Ciclo de Krebs e Hormônios esteroides. Independente da escolha, eles têm os mesmos mecanismos. Nesse modo, o aluno é instruído a concluir uma via metabólica, passo a passo, selecionando a molécula correspondente à pergunta específica. Não há limite de erros, a atividade é terminada quando o estudante seleciona a última molécula da via.

O modo de Jogo é um jogo de perguntas e respostas. O aplicativo fornece perguntas sobre a via escolhida, e o aluno tem que respondê-las o mais rápido possível. A ordem das perguntas é selecionada aleatoriamente, assim, não há nenhuma sequência lógica envolvida. O desempenho do aluno é avaliado com base no número de erros e no tempo utilizado para concluir o questionário. Portanto, a pontuação é maior para respostas rápidas e corretas.

ARMET para professores: O ARMET pode funcionar como uma excelente ferramenta de *feedback*. O Módulo de Análises Estatísticas (MAS) *online* oferece uma grande variedade de informações sobre o desempenho dos alunos. Isso está disponível na seção Relatórios, que pode ser acessada somente se o usuário tiver um *login* registrado. Para ter um *login*, é necessário apenas um *e-mail* e uma senha.

Na seção Relatórios, é possível discriminar as informações em uma série de categorias. O desempenho dos alunos é dividido em Modo (Jogo e Estudo), Via (Glicólise, Ciclo de Krebs e Hormônios esteroides), e Classes, onde é possível comparar diferentes turmas por datas de Início e Fim. Além disso, o desempenho pode ser avaliado com base na pontuação dos alunos, tempo e número de erros. As informações fornecidas pelo uso do aplicativo do aluno podem ser visualizadas através de diferentes análises estatísticas. A tabela de dados mostra os dados brutos sobre a pontuação, tempo e número de erros. A análise do gráfico de caixa mostra a distribuição dos dados.

O ARMET fornece aos professores métricas transparentes e consistentes que lhes permite sistematizar critérios e indicadores para reduzir a subjetividade do processo de avaliação. Com esta tecnologia, é possível verificar em tempo real o desempenho de cada aluno e determinar seu progresso, identificar onde os erros ocorrem, e mesmo conduzir uma investigação aprofundada das possíveis causas, fornecendo uma melhor ferramenta pedagógica para estabelecer uma avaliação formativa eficaz para o ensino do metabolismo.

4.1 Desenvolvimento do ARMET

O aplicativo ARMET foi desenvolvido utilizando-se a plataforma de desenvolvimento *Unity3D* e o kit de desenvolvimento *Vuforia Augmented Reality*. Todos os modelos das moléculas foram adquiridos a partir de licenças gratuitas ou de domínio público (*Protein Data Bank e ChemSpider*), passando por posteriores adaptações e polimentos através do uso do *software* livre *Blender*.

Baixando o *App*: Para dispositivos da *Apple*, o usuário pode encontrar o aplicativo na *App Store* (como pode ser observado na Fig. 6). O *App* pode ser encontrado através de pesquisa pelo nome ARMET usando o motor de busca. O primeiro resultado apresentado deve ser o ARMET *App*, mas se isso não acontecer, recomenda-se restringir a pesquisa para ARMET Unicamp.

Os próximos passos são típicos para todos os aplicativos baixados da *App Store*, portanto, será necessário um *login* e uma senha. Para dispositivos Android, o usuário deve olhar para o *App* na *Play Store* como é apresentado na Fig. 6.

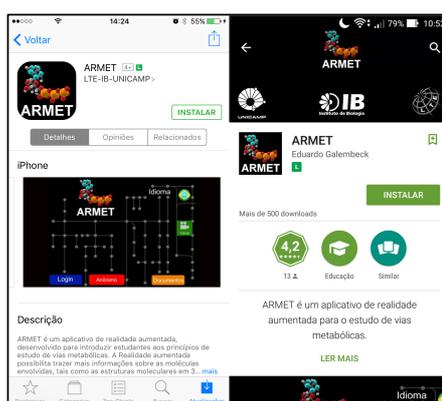


Figura 6. Para baixar o ARMET. Esquerda *AppStore* (dispositivos iOS) e direita *Google Play* (dispositivos Android).

Antes de Executar o *App*: Depois de instalar o ARMET no seu dispositivo, existem algumas etapas a serem realizadas antes de usá-lo. A primeira ação que o usuário precisa tomar é abrir o ARMET e tocar no botão Idioma - ele está disponível em espanhol, inglês e português (Fig. 7).

É necessário também baixar alguns arquivos em PDF para poder usar o aplicativo, para isto deve-se tocar o botão Documentos no canto inferior direito da tela (Fig. 7). Nesta tela, há um arquivo que deve ser impresso e os outros dependem de ações dos usuário. Por exemplo, se o usuário quer estudar a via glicólise, é necessário imprimir o tabuleiro de jogo e as cartas Glicólise. Para baixar e imprimir esses arquivos, tudo o que é necessário é tocar o nome do arquivo escolhido e esperar até que o navegador abra um documento PDF do arquivo selecionado, como é apresentado na Fig. 7.

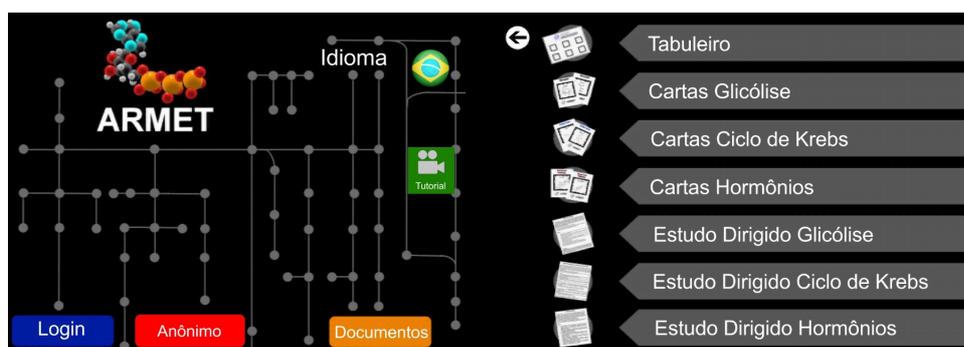


Figura 7. Tela principal do ARMET (Esquerda) e tela para baixar os PDFs dos documentos (direita).

Usuários da Apple podem fazer o download ou imprimir o arquivo clicando no botão Compartilhar, aquele com uma seta saindo de um quadrado. Uma das muitas opções disponíveis neste menu do botão é para impressão. Usuários do Android devem tocar no botão Mais Opções, no canto superior direito da tela. Na lista que se segue, existe uma opção de impressão. Para ambos os casos, é necessária uma impressora compatível de modo que o dispositivo possa enviar o ficheiro diretamente a ela. Caso contrário, o usuário terá que fornecer uma outra maneira de ter os arquivos impressos. Uma ação alternativa pode ser salvar o arquivo PDF no dispositivo, enviá-lo para um *e-mail* pessoal e em seguida, imprimi-lo a partir de um *desktop* conectado a uma impressora.

Executando o *App*: Com o tabuleiro de jogo impresso em mãos, o usuário pode abrir o ARMET e escolher entre usá-lo anonimamente ou registrar uma nova conta. Para isto, não é necessário ter um *login* autenticado. Quando o usuário toca o botão Anônimo, uma nova tela será carregada. Nesta nova tela, o usuário só precisa apontar a câmara para o tabuleiro de

jogo impresso, mais especificamente, para os marcadores (quadrados) na área superior do papel. Agora devem aparecer modelos 3D em cinco das seis vagas disponíveis. Esses modelos funcionam como botões, de modo que cada um deles leva o usuário para seções específicas do aplicativo, tais como Modo de Estudo, Modo de Jogo, Referências e Créditos como é apresentado na Fig. 8.

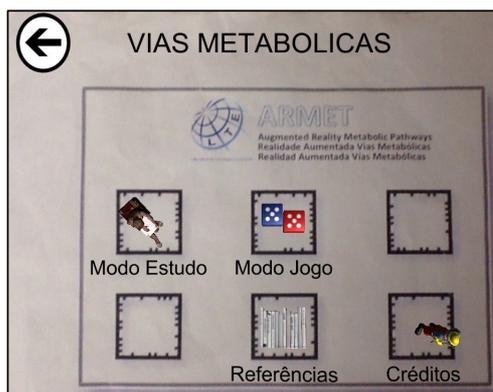


Figura 8. Menu principal do ARMET.

O modo Estudo tem três vias metabólicas disponíveis: Glicólise, Ciclo de Krebs e Hormônios Esteroides como é mostrado na Fig. 9.

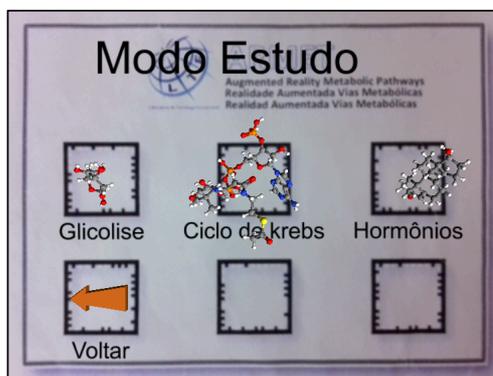


Figura 9. Vias metabólicas disponíveis no ARMET.

Neste documento, será usada a glicólise como exemplo de como usar o *App* nesse modo. Assim, no modo Estudo, os usuários devem tocar a molécula mostrada no quadro glicólise para ser guiado através da via. Na nova tela carregada, são apresentados aos usuários dois campos de texto. A parte superior mostra aos usuários informações sobre a molécula a ser escolhida. Este campo de texto funciona como sugestões para os usuários construírem corretamente a glicólise, guiado passo-a-passo. No campo inferior mostra ao usuário se a

resposta escolhida é correta ou não. Além disso, existem duas colunas brancas uma a cada lado da tela. Na coluna da esquerda, são mostradas as moléculas necessárias para que ocorra a reação química. Na coluna da direita mostram-se as moléculas que resultam da reação como pode ser observado na Fig. 10. Portanto, ao escolher a resposta correta ao longo da via, serão apresentadas pistas sobre as próximas moléculas e reações até a última molécula ser atingida.

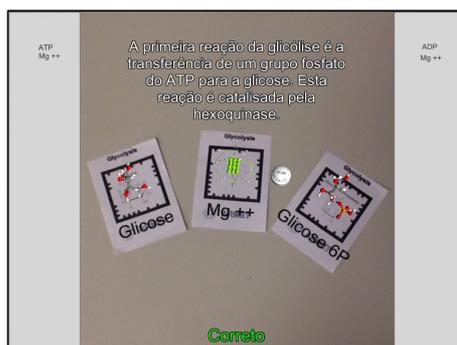


Figura 10. Tela principal do Modo Estudo do ARMET.

O modo Jogo oferece a mesma dinâmica de realidade aumentada que o modo Estudo, mas em vez de montar uma via metabólica, o usuário será desafiado a responder uma série de perguntas corretamente. Neste modo, o *App* levará em conta o tempo necessário para que o usuário responda a todas as perguntas apresentadas. Além disso, neste modo existe uma coluna branca ao lado direito que mostra as respostas corretas tomadas pelo usuário, como é mostrado na Fig. 11. Ele funciona como um guia para que os usuários possam manter o controle das moléculas já escolhidas. No final, será calculada a pontuação final, que considera o tempo utilizado e o número de respostas erradas.



Figura 11. Tela principal do Modo Jogo do ARMET. Os dois pontos de interrogação significam que a questão têm duas respostas corretas.

Para aqueles dispostos a usar os recursos do ARMET para professores, o primeiro passo a ser tomado é criar um novo *login*. Na tela principal, o usuário deve tocar no botão *login* e, em seguida, na tela seguinte, tocar no botão no canto inferior direito (Fig. 12). Será mostrado um termo de consentimento livre e esclarecido, que o usuário deve ler e aceitar para prosseguir (Fig. 12). Agora, há algumas informações que o usuário deve digitar para registrar um *login*. Os campos obrigatórios são o nome, *e-mail* e senha. Antes de concluir a inscrição, o usuário pode escolher a opção professor e, em seguida, tocar no botão inscrever (Fig. 12). Em alguns momentos, o usuário deve receber a confirmação por *e-mail*. Ele contém todas as informações de *login* necessárias para preencher no *App*. Portanto, o próximo passo é fazer *login*. Na tela principal, o usuário só precisa preencher os campos de *e-mail* e senha e, em seguida, tocar o botão de entrar, como é mostrado na Fig. 12.

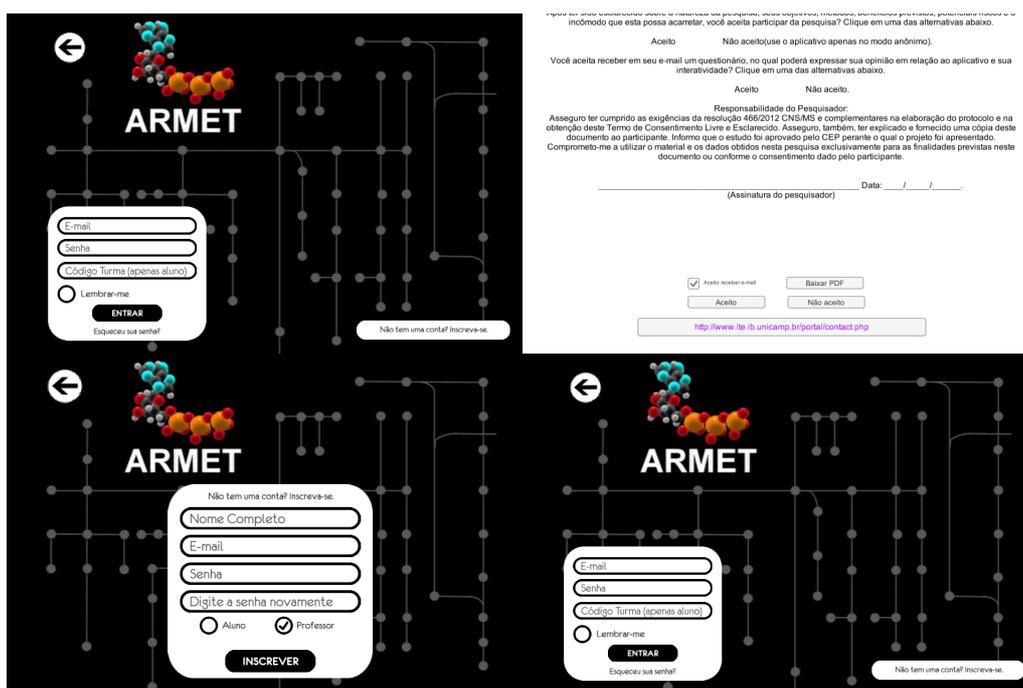


Figura 12. Fluxo de passos necessários para usar ARMET como professor.

O aplicativo irá iniciar automaticamente, ligando a câmera do dispositivo, agora é necessário apontar a câmara para o tabuleiro de Jogo. Duas novas características exclusivas são mostradas: Minhas turmas e Relatórios como é mostrado na Fig. 13.



Figura 13. Tela principal do ARMET para professores.

A primeira permite ao professor criar e gerenciar classes diferentes, cada um com sua própria característica, como é mostrado na Fig. 14.

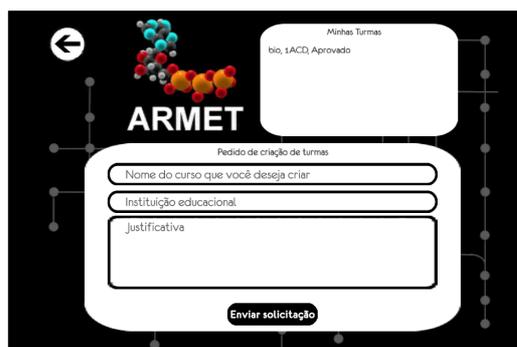


Figura 14. Tela para solicitar a criação de turmas.

A segunda conecta o *App* com a interface *web* do Modulo de Análises Estatístico MAS (Fig. 15).

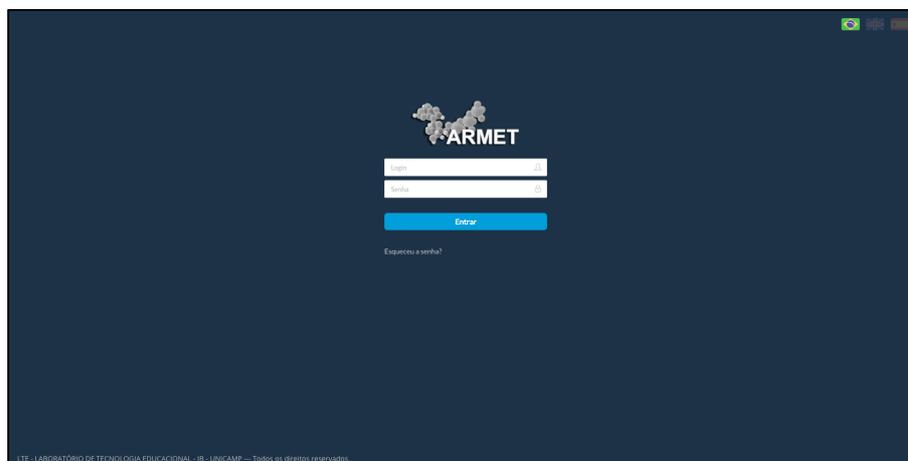


Figura 15. Tela principal do Modulo de Análises estatísticos (MAS).

Para ter acesso ao MAS o professor só precisa preencher os campos de *e-mail* e senha e em seguida, tocar o botão de entrar, como é mostrado na Fig. 15.

Quando o professor toca o botão Entrar, a tela Estatísticas gerais é carregada (Fig. 16). Nesta nova tela é possível selecionar o modo (Fig. 17), a via (Fig. 18), a turma e a data para fazer as análises estatísticas (Fig. 19).

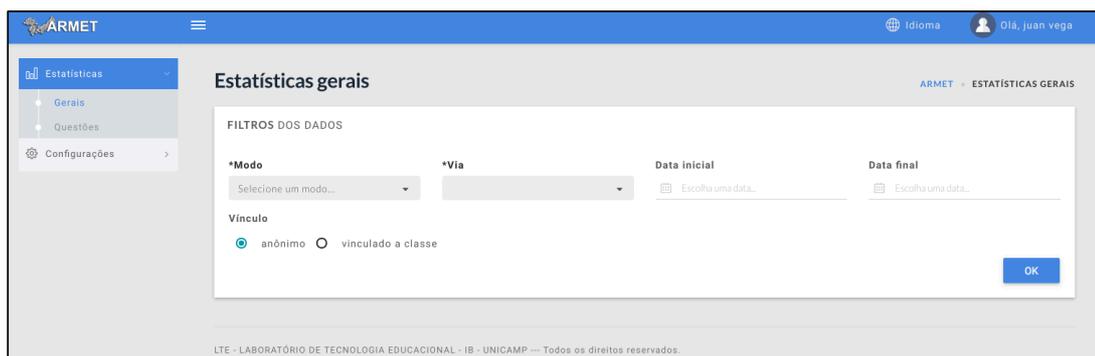


Figura 16. Tela principal estatísticas gerais.

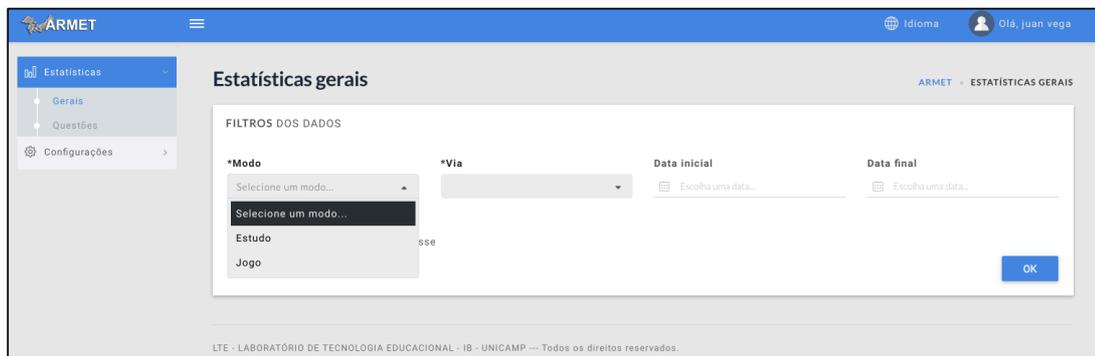


Figura 17. Seleção de modo Estudo ou Jogo.

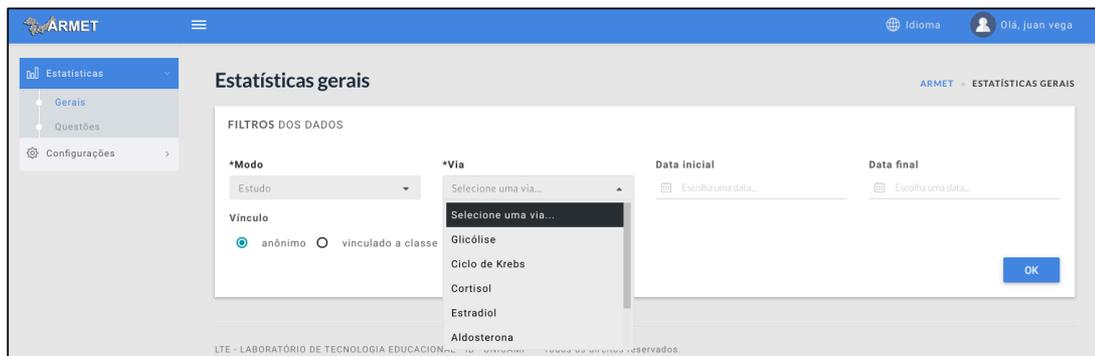


Figura 18. Seleção via metabólica.

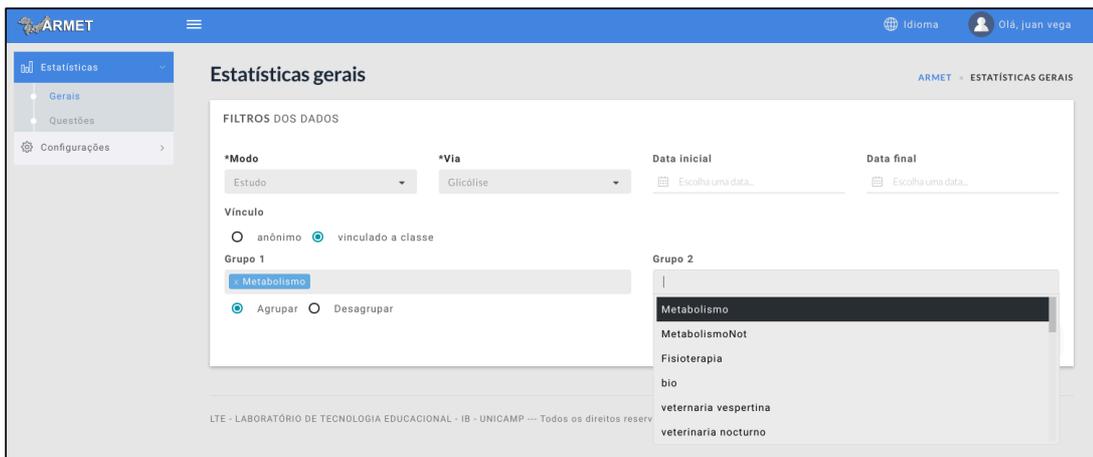


Figura 19. Seleção de turma e data.

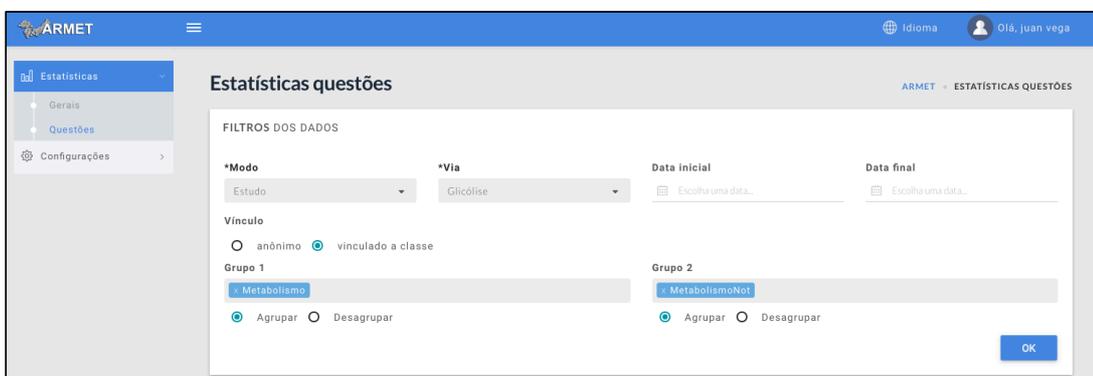


Figura 20. Seleção de turma e data.

Ao clicar no botão *OK* (Fig. 20) se exibem os resultados estatísticos das classes que o professor criou. O primeiro dado que é apresentado é um gráfico de caixa que mostra a distribuição dos pontos, tempo e número de erros (Fig. 21).

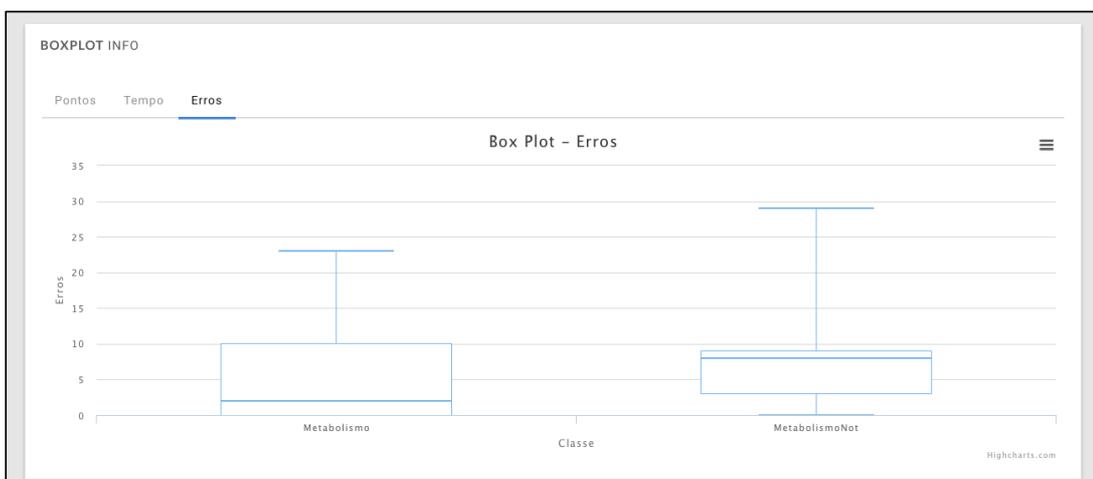


Figura 21. Gráfico de caixa (*Boxplot*) que mostra a distribuição dos pontos, tempo e número de erros.

O segundo grupo de dados que é apresentado se refere à tabela que mostra os dados brutos sobre a pontuação, tempo e número de erros (Fig. 22).

TABELA DOS DADOS - METABOLISMO				
NOME	PONTOS	TEMPO	ERROS	QUESTÕES
	100	13min 3s	2	Informações da tentativa
	100	30min 28s	0	Informações da tentativa
	100	11min 7s	23	Informações da tentativa
	100	3min 23s	0	Informações da tentativa
	100	7min 7s	16	Informações da tentativa
	100	48min 46s	2	Informações da tentativa
	100	35min 36s	0	Informações da tentativa
	100	31min 52s	3	Informações da tentativa
	100	13min 55s	8	Informações da tentativa
	100	53min 46s	0	Informações da tentativa
	100	30min	16	Informações da tentativa
	100	63min 55s	2	Informações da tentativa

Figura 22. Tabela com os dados brutos sobre a pontuação, tempo e número de erros. Nome corresponde a cada aluno que realizou a atividade, pontos (100) significa que o aluno conseguiu montar a via com sucesso. Tempo corresponde ao tempo que o aluno levou para montar a via. Erros é o número de erros totais que o aluno teve ao montar a via.

Se o professor quiser análises detalhados sobre um aluno em particular, basta clicar sobre o nome do aluno. A figura Fig. 23 mostra os resultados do aluno número 3, o qual levou 11 minutos e 7 segundos para montar a via, este aluno teve 23 erros em total, mas os erros estiveram concentrados nas questões 2 e 6.

Informações da tentativa				
QUESTÃO	ERRO(S)	CORRETA(S)	RESPOSTA(S)	
Questão 10	0	- Pyruvate	- Pyruvate	
Questão 9	0	- Phosphoenolpyruvate	- Phosphoenolpyruvate	
Questão 8	0	- 2-phosphoglycerate	- 2-phosphoglycerate	
Questão 7	0	- 3-phosphoglycerate	- 3-phosphoglycerate	
			- Glyceraldehyde 3-phosphate	
			- Glyceraldehyde 3-phosphate	
			- Glyceraldehyde 3-phosphate	
			- NADH	
Questão 6	9	- 1-3-bisphosphoglycerate	- 3-phosphoglycerate	
			- 3-phosphoglycerate	
			- 2-phosphoglycerate	
			- 2-phosphoglycerate	
			- 1-3-bisphosphoglycerate	
Questão 5	1	- Glyceraldehyde 3-phosphate	- Dihydroxyacetone phosphate	
			- Glyceraldehyde 3-phosphate	
Questão 4	0	- Fructose 1-6 BP	- Fructose 1-6 BP	
Questão 3	1	- Fructose 6P	- Glucose	
			- Fructose 6P	
			- Dihydroxyacetone phosphate	
			- Dihydroxyacetone phosphate	
			- Glucose	
			- Glucose	
			- Glucose	
Questão 2	12	- Glucose 6P	- Glucose	
			- Glucose 6P	
Questão 1	0	- Glucose	- Glucose	

Figura 23. Análises detalhado por aluno.

O MAS também permite fazer análises estatísticas por questões e questionários, para usar essa funcionalidade o professor só precisa clicar no botão Questões (Fig. 24).

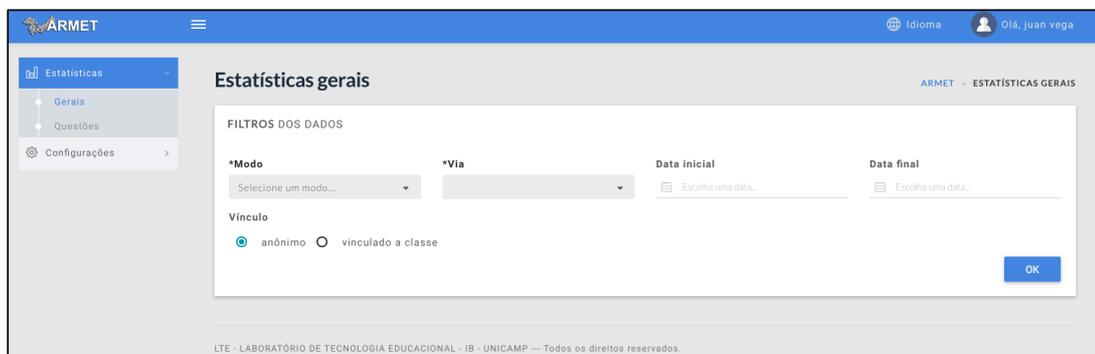


Figura 24. Tela principal do MAS, para fazer análises das questões é preciso clicar sobre Questões e fazer a consulta da mesma maneira que foi feita para análises estatísticas gerais.

Ao clicar sobre o botão *OK* (Fig. 23) se exibem os resultados estatísticos das questões da via que o professor deseja analisar. É apresentado então um gráfico de barras que mostra o número de erros e acertos por questão e uma tabela com as estatísticas de cada uma. (Fig. 24).

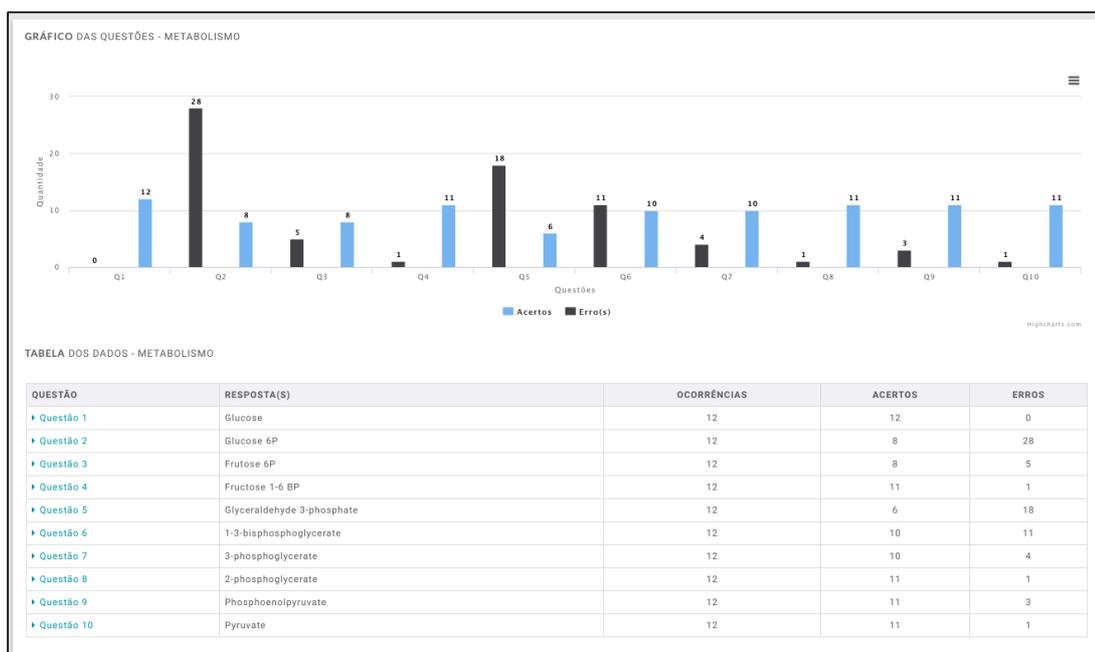


Figura 25. Gráfico e tabela com os resultados detalhados por questão para fazer análises dos questionários.

Proposta pedagógica: A atividade foi desenvolvida como uma maneira de usar técnicas de aprendizagem ativa para grandes públicos, onde os alunos são organizados em grupos, e parte do *feedback* dado a eles é fornecido pelo aplicativo. O principal papel dos Instrutores é guiá-los em toda a atividade e moderar o debate. Para aplicar esta atividade a uma turma específica, o professor precisa criar uma classe dentro do ARMET. Os alunos que participarão da turma criada deverão usar o código para ingressar no aplicativo. Desta maneira, eles podem ser identificados em um grupo específico e o professor pode verificar o seu desempenho através da seção de Relatórios. A primeira atividade se trata da montagem da via glicolítica usando o modo Estudo e utilizando as pistas fornecidas pelo aplicativo. As cartas impressas mostram as estruturas 2D das moléculas, as quais podem ser reconhecidas pela câmara do dispositivo móvel e mostra a estrutura 3D da molécula correspondente. Agora os alunos são convidados a organizar as moléculas em uma sequência lógica. Eles são então estimulados a jogar no modo Jogo, no qual eles devem encontrar a resposta correta para várias perguntas sorteadas do banco de questões na tela do dispositivo. O modo Jogo é sugerido para avaliar o desempenho dos alunos na atividade. O professor pode usar esta tecnologia para determinar em tempo real o progresso do aluno, identificar onde os erros ocorrem, até mesmo conduzir uma investigação aprofundada das possíveis causas, fornecendo uma melhor ferramenta pedagógica para estabelecer uma avaliação formativa e eficaz para o ensino do metabolismo.

4.2 Avaliação do ARMET.

Para fazer a avaliação do ARMET foram usadas três estratégias diferentes: a avaliação de visibilidade, usabilidade e utilidade.

4.2.1 Avaliação de visibilidade e aceitação do ARMET.

Para a publicação do *App* nas principais lojas de aplicativos disponíveis no mercado (*Google Play e Apple Store*), ARMET foi associado ao *Google Analytics (GA)*. O GA é um serviço gratuito do Google que tem como alvo principal *sites* de comércio eletrônico, mas a ferramenta tem sido utilizada na pesquisa em tecnologia educacional como forma de analisar o uso e o sucesso de recursos educacionais (Ellis, 2012).

Esta ferramenta oferece acesso a estatísticas dos usuários de *sites* ou aplicativos registrados, enviando as informações ao gerenciador, o qual pode usá-la para monitorar o acesso e visibilidade do recurso.

Analisando os dados disponíveis no GA é possível observar que desde a associação do aplicativo à ferramenta (Abril de 2014) até o momento (Julho de 2017), 1494 usuários de 98 países fizeram *download* do aplicativo como pode se observar na figura 26.

O potencial dessa ferramenta é obter informações tais como: o engajamento dos usuários, a presença de novos usuários, o retorno de usuários antigos e quantos ainda estão ativos, a duração média de cada sessão, as telas mais acessadas e também o percurso realizado dentro do aplicativo. Tais dados representam um bom indicador da aceitação do aplicativo.

O tempo dedicado ao aplicativo é um indicador de quão valioso o aplicativo é para os usuários. Esta métrica é usada para identificar a frequência com que eles se envolvem com o *App*. Estudos anteriores relacionados ao tempo gasto na utilização de aplicativos mostram que o 50% dos usuários para celular têm tempos de uso menores a 30 segundos e que o 90% dos usuários os usam por menos de quatro minutos (Lustosa et al, 2015). O ARMET tem uma média de uso de 6 min e 22 segundos o que pode significar que nossos usuários estão envolvidos com o aplicativo.

Mais que dados como o número de usuários (1494), visualizações de tela (45270) e duração média por sessão (6 min e 22 seg.), nós acreditamos que o indicador mais importante é a taxa de retorno (79.4%), já que com ele podemos interpretar quão útil e atrativo é o aplicativo para os usuários.

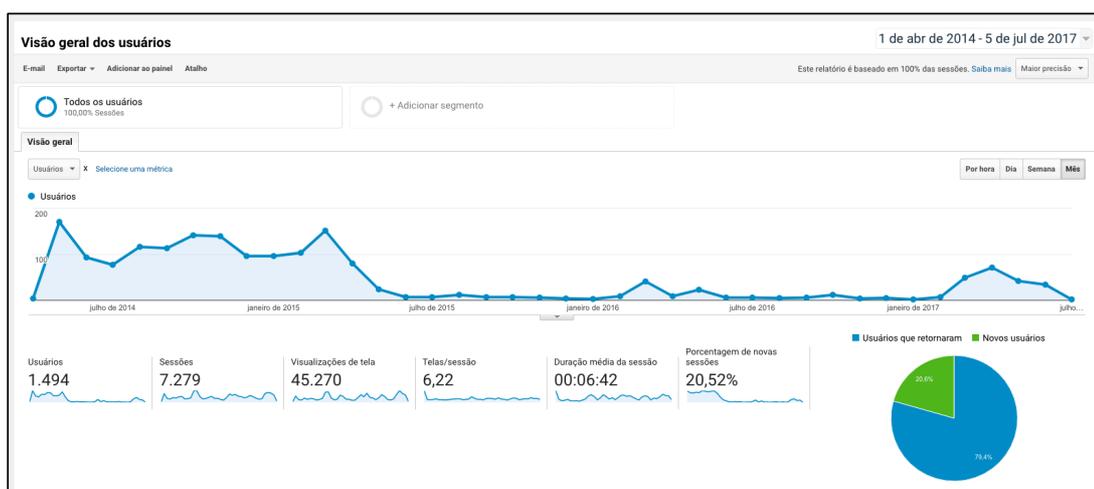


Figura 26. Resumo de uso do ARMET.

A distribuição dos usuários também é um indicador interessante, o ARMET tem sido acessado em 98 países dos cinco continentes (Fig. 27). Os três principais países onde o aplicativo é majoritariamente utilizado correspondem aos três idiomas nos quais o aplicativo tem sido programado (Fig. 28). Na figura 29 observamos que a maior parte dos usuários usam o ARMET para estudar a glicólise e que eles continuam usando o aplicativo com uma baixa taxa de desistência (23.4%).

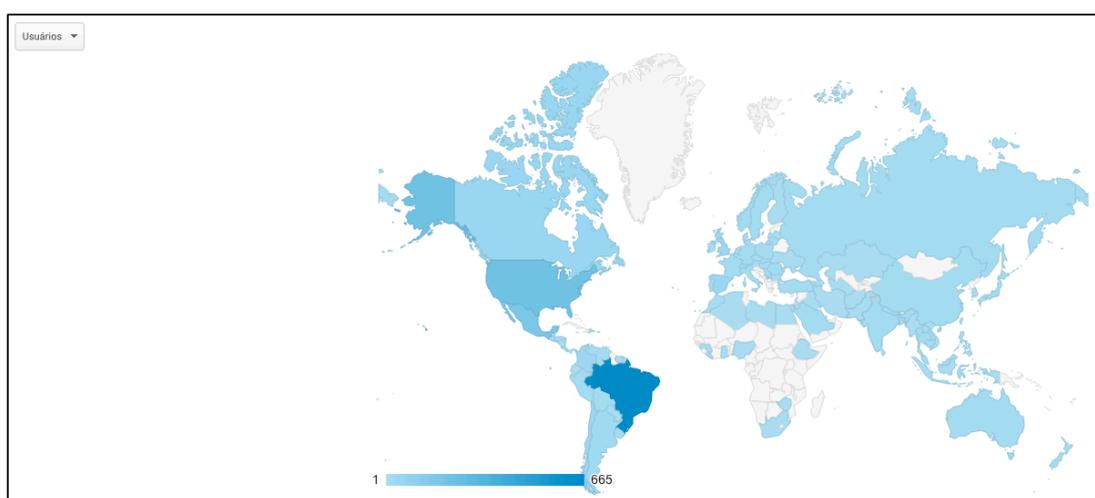


Figura 27. Países do mundo que usaram o ARMET. A escala da cor azul mostra onde foi mais usado o aplicativo.

País	Sessões	Porcentagem do Sessões
1. Brasil	3.766	51,74%
2. México	1.092	15,00%
3. United States	634	8,71%
4. Argentina	220	3,02%
5. Spain	204	2,80%
6. Colombia	171	2,35%
7. Chile	130	1,79%
8. Canada	122	1,68%
9. Austrália	84	1,15%
10. Uruguay	71	0,98%

Figura 28. Listado dos 10 primeiros países onde mais utilizou-se o ARMET.



Figura 29. Percurso do uso do ARMET. O gráfico mostra que a via mas usada foi a glicólise.

4.2.2 Avaliação de usabilidade do ARMET

Para medir a usabilidade do aplicativo, foi usada a escala SUS (System Usability Scale). A escala SUS é um questionário composto por 10 itens (Tabela 3), com 5 opções de respostas. O participante deve assinalar sua resposta numa escala Likert que varia de Discordo fortemente a Concordo fortemente. O resultado é representado pela soma da contribuição individual de cada item. Para os itens ímpares deve-se subtrair 1 à resposta do usuário, ao passo que para os itens pares deve-se subtrair 5 à resposta do estudante. Depois de obter o *score* de cada item, somam-se os *scores* e multiplica-se o resultado por 2,5. Desta forma, o resultado obtido será um índice de satisfação do estudante que varia de 0 a 100 (Boucinha e Tarouco, 2011; Brooke, 2013).

Os resultados correspondem a 69 alunos de duas turmas diferentes que cursaram a disciplina introdução ao metabolismo. Foi aplicado um questionário com 10 questões, onde os alunos deviam avaliar a sua concordância ou discordância com cada afirmação usando 5 quando concordar fortemente e 1 quando discordar fortemente como é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Questionário sobre a usabilidade do ARMET.

1 (Discordo fortemente) ate 5 (Concordo fortemente)				
1. Gostaria de usar o ARMET com frequência.	2. Achei o ARMET desnecessariamente complexo.	3. Achei o ARMET fácil de usar.	4. Acho que precisaria de ajuda do suporte técnico para ser capaz de usar o ARMET.	5. Achei que as várias funções do ARMET foram bem integradas.
6. Achei que havia muitas inconsistências no ARMET.	7. Imagino que a maioria das pessoas aprenderia a usar o ARMET muito rapidamente.	8. Achei o ARMET muito complicado de usar.	9. Senti-me muito confiante usando o ARMET.	10. Precisaria aprender muitas coisas antes que eu pudesse usar bem o ARMET.

Uma vez resolvido o questionário, foi calculado o *score* para cada aluno, o *score* total por questão e para o *App*. Os resultados são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Questionário sobre a usabilidade do ARMET.

id	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Score
1	3	1	4	1	4	3	4	1	3	2	75
2	4	1	4	2	4	1	4	1	4	3	80
3	3	1	5	1	3	1	5	1	3	3	80
4	2	2	2	3	3	3	2	3	2	3	42,5
5	3	2	3	2	3	3	2	2	3	2	57,5
65	3	2	3	1	4	3	3	2	4	2	67,5
66	4	2	3	1	3	1	4	2	3	2	72,5
67	4	1	1	2	4	1	5	2	4	1	77,5
68	3	2	3	2	4	2	2	2	1	3	55
69	3	1	4	2	3	2	4	2	4	2	72,5
Total	61,59	74,64	63,77	82,25	66,30	78,26	63,77	75,00	51,45	55,07	67,21

Respostas ao questionário SUS. id corresponde a cada aluno. Os números de 1 a 10 correspondem as questões do questionário.

Para realizar a análise foi usada a metodologia proposta por (Boucinha e Tarouco, 2011) os quais utilizam cinco indicadores para avaliar a usabilidade de um Sistema Interativo.

1. Facilidade de aprendizagem (facilidade de utilizar o sistema pela primeira vez): Se obtém calculando a média do *score* total das questões 3, 4, 7 e 10. A média do resultado destas questões foi 66,21, portanto podemos concluir que os usuários apresentaram facilidade de aprender a utilizar o *App*.

2. Eficiência (rapidez para executar as tarefas): Se obtém calculando a media do *score* total das questões 5, 6 e 8. A média do resultado destas questões foi 73,19, portanto podemos concluir que os alunos consideram o *App* eficiente.

3. Facilidade de memorização (o processo de lembrar como utilizar o sistema, após um tempo sem utilizar): Se obtém usando como indicador o *score* total da questão 2. Neste item, o score SUS foi 74,64, que demonstra satisfação em relação a este item.

4. Minimização dos erros (ausência de erros apresentados pelo sistema): Se obtém usando como indicador o *score* total da questão 6. Neste item, o *score* SUS foi 78,26. Portanto, podemos concluir que os alunos consideram que o *App* tem um baixo nível de inconsistências.

5. Satisfação (design agradável): Se obtém calculando a média do *score* total das questões 1, 4, 9. A média do resultado destas questões foi 65.10, portanto podemos concluir que os alunos encontraram o design o *App* adequado.

Segundo Bangor et al (2008) os produtos com pontuação inferior a 70 devem ser considerados candidatos para um maior escrutínio e melhoria contínua. Os produtos com pontuação inferior a 50 devem ser motivo de preocupação significativa e são julgados inaceitáveis. O *Score* SUS total do ARMET foi de 67,21 o que significa que dentro da escala de classificação adjetiva esta em *OK* (Figura 30). A descoberta de que a escala de classificação adjetiva se aproxima muito da escala SUS sugere que ela é uma ferramenta útil para ajudar a fornecer um rótulo subjetivo para o *score* médio SUS de um estudo individual. Embora que alguns pesquisadores consideram que a pontuação *OK* significa que a usabilidade do produto é satisfatória (Bangor et al, 2009), estes recomendam que são necessárias melhorias para aumentar a usabilidade percebida.

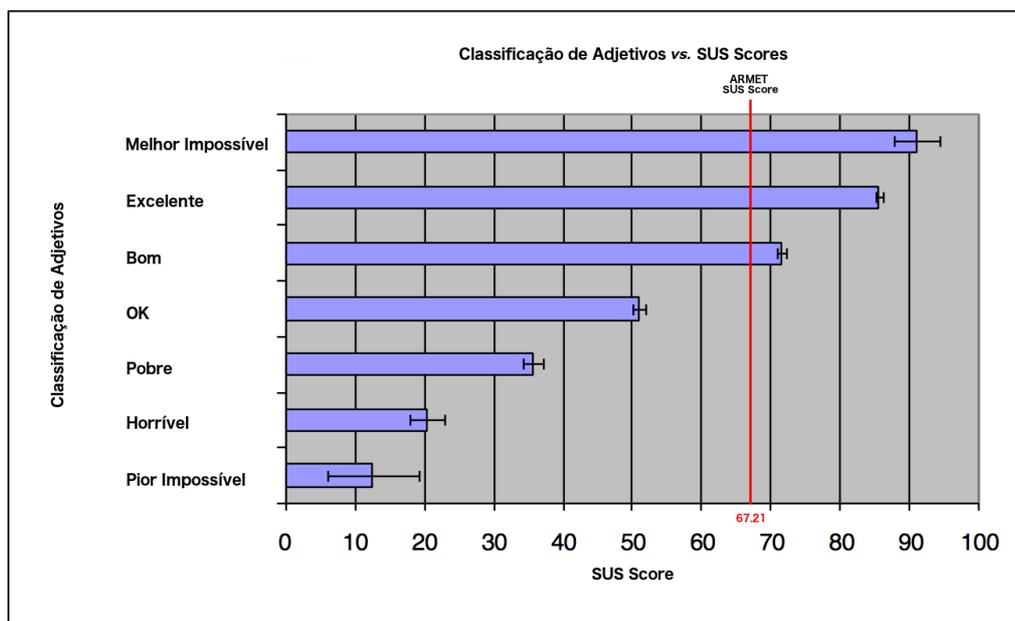


Figura 30. Escala de classificação adjetiva SUS: O *score* total do ARMET foi de 67,21 o que significa que está dentro de *OK* (Tomado de Bangor et al, 2009).

4.2.3 Avaliação de utilidade do ARMET

O ARMET tem um módulo para a avaliação do aplicativo: é um questionário do tipo Likert para avaliar a utilidade que os alunos dão ao recurso educacional para aprender metabolismo. Os resultados correspondem a 21 alunos de duas turmas diferentes que cursaram a disciplina Introdução ao Metabolismo. Foi aplicado um questionário com 15 questões, onde os alunos deviam avaliar a sua concordância ou discordância com cada afirmação usando 5 quando concordar totalmente e 1 quando discordar totalmente como é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Questionário sobre a utilidade do ARMET.

5 é concordo totalmente e 1 discordo totalmente				
1. ARMET me motivou a aprender Bioquímica.	2. ARMET me ajudou a compreender melhor os princípios básicos das vias metabólicas.	3. ARMET me ajudou a ter um melhor desempenho nas provas.	4. ARMET me esclareceu que as vias metabólicas são úteis para entender a lógica da bioquímica.	5. Achei o ARMET útil para o meu aprendizado.
6. ARMET melhorou o meu conhecimento de bioquímica.	7. ARMET me ajudou a reter o conteúdo.	8. ARMET foi uma maneira divertida de aumentar a minha compreensão do metabolismo.	9. ARMET é uma ferramenta útil para construir conceitos.	10. O uso de moléculas 3D torna menos abstrata a aprendizagem da bioquímica.
11. ARMET me ajudou a aprender / compreender vias metabólicas individuais.	12. ARMET me ajudou a aprender / compreender o metabolismo como um todo.	13. Eu aprendi mais do que eu teria aprendido se não tivesse usado ARMET.	14. As atividades propostas pelo ARMET tem um grau adequado de dificuldade.	15. Os exercícios de avaliação têm sido úteis para o meu aprendizado.

Uma vez respondido o questionário, foi calculado o valor escalar -VE- (Média das respostas do questionário). Os resultados do valor escalar são mostrados na Figura 31.

Id	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	VE
1	4	4	4	3	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	3	4,5
2	2	3	1	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	3	2	2,2
3	4	4	3	5	3	3	4	5	5	5	4	4	3	4	5	4,1
4	4	3	3	4	4	4	3	5	3	5	4	4	4	4	3	3,8
5	3	4	4	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	3,6
6	2	4	3	4	3	4	4	5	3	5	4	4	3	4	4	3,7
7	5	5	3	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4	3	4	4,1
8	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	3	4	5	4	4	4,1
9	4	4	3	4	4	4	4	4	4	5	4	4	3	4	3	3,9
10	3	4	4	4	5	5	4	3	4	3	4	4	2	5	4	3,9
11	5	5	4	5	5	5	5	3	5	5	5	4	5	5	5	4,7
12	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	3	5	5	4,7
13	3	4	2	2	3	3	3	4	4	4	3	2	3	3	3	3,1
14	2	4	5	3	3	5	4	3	5	5	3	4	3	5	4	3,9
15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4,9
16	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	3	4	4,5
17	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	3	5	4,1
18	3	4	3	2	4	5	4	5	4	5	4	3	3	4	3	3,7
19	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,0
20	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	3	5	4	4	4,1
21	4	4	4	5	5	4	4	5	5	4	3	4	5	4	4	4,3

Figura 31. Respostas ao questionário Likert. ID corresponde a cada aluno. Os números de 1 a 15 correspondem às questões do questionário. VE corresponde ao valor escalar calculado.

Uma vez calculado o valor escalar foram criadas quatro categorias de utilidade como é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Categorias de utilidade do ARMET.

Valor Escalar	Categoria	Frequência	Porcentagem
1 a 1,9	Inútil	0	0,0
2,0 a 2,9	Pouco útil	1	4,76
3,0 a 3,9	útil	8	38,1
4,0 a 5,0	Muito útil	12	57,1
Total		21	100

Os resultados indicam que 95,2% dos alunos que responderam o questionário acreditam que o ARMET é uma ferramenta útil para a aprendizagem de metabolismo.

A valoração de percepção da utilidade dos recursos educacionais por parte dos estudantes é a melhor ferramenta de *feedback* que têm os professores e desenvolvedores para a melhoria contínua do recurso. Também constitui uma valiosa contribuição para a avaliação formativa, porque o aluno é incluído e convidado a expressar objetivamente se as atividades acadêmicas realizadas cumprem as suas expectativas e se seus objetivos de aprendizagem estão sendo alcançados (Lustosa et al, 2017).

4.3 Avaliação de questões e questionários

Para realizar a avaliação de questões e questionários foi preciso coletar e salvar os dados de uso do aplicativo por parte dos alunos. Para tal, foi criada uma base de dados e esses dados foram analisados usando o *software* R® e o RStudio (ambiente de desenvolvimento integrado).

4.3.1 Base de dados do ARMET

A base de dados do ARMET é um banco de dados MySQL armazenado no servidor do Laboratório de Tecnologia Educacional do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). A base de dados coleta informações sobre o uso do aplicativo, como é observado nas Figuras 32 e 33.

id	userid	idClass	sessionId	idQuestion	nErrors	answer	timestamp
10382	0	0	636150779592541020-D4B4D261-4263-4EE3-9917-7FD003D...	55	0	23,	2016-11-18 15:08:33
10381	0	0	636150779592541020-D4B4D261-4263-4EE3-9917-7FD003D...	53	1	23,18,16,	2016-11-18 15:08:20
10380	0	0	636150779592541020-D4B4D261-4263-4EE3-9917-7FD003D...	48	0	19,	2016-11-18 15:07:43
10379	0	0	636150779592541020-D4B4D261-4263-4EE3-9917-7FD003D...	56	1	24,14,17,31,	2016-11-18 15:07:35
10378	0	0	636150780313883950-7269B1F0-F669-4E38-B1EA-DD9B539...	50	25	12,33,34,36,17,36,35,33,18,33,35,35,14,12,13,32,34...	2016-11-18 15:06:47
10377	0	0	636150779592541020-D4B4D261-4263-4EE3-9917-7FD003D...	60	0	28,17,	2016-11-18 15:06:40
10376	0	0	636150779592541020-D4B4D261-4263-4EE3-9917-7FD003D...	57	1	19,18,	2016-11-18 15:06:02
10375	0	0	636150779594074100-29AD2DB9-6768-4C95-B3FC-99815FA...	51	0	20,	2016-11-18 15:05:26
10374	0	0	636150779592541020-D4B4D261-4263-4EE3-9917-7FD003D...	50	32	17,12,17,16,31,33,34,14,13,35,33,30,16,17,17,31,29...	2016-11-18 15:05:21
10373	0	0	636150779594074100-29AD2DB9-6768-4C95-B3FC-99815FA...	58	0	20,	2016-11-18 15:05:17
10372	0	0	636150780313883950-7269B1F0-F669-4E38-B1EA-DD9B539...	55	5	22,21,20,20,19,23,	2016-11-18 15:05:15
10371	0	0	636150779594074100-29AD2DB9-6768-4C95-B3FC-99815FA...	45	1	20,21,	2016-11-18 15:04:55
10370	0	0	636150780313883950-7269B1F0-F669-4E38-B1EA-DD9B539...	59	6	28,27,17,12,18,18,31,16,	2016-11-18 15:04:54
10369	2305	24	63615079340483740-229E5B9C-58FD-4092-8522-BA2D72F...	58	2	18,28,20,	2016-11-18 15:04:27
10368	0	0	636150780313883950-7269B1F0-F669-4E38-B1EA-DD9B539...	46	5	22,23,23,21,20,19,	2016-11-18 15:04:17

Figura 32. A tabela de respostas apresenta dados como: Id corresponde ao número de perguntas que foram respondidas, userId (0 corresponde anônimo e um número diferente de 0 corresponde a um usuário cadastrado), IdClass (0 corresponde anônimo e um número diferente de 0 corresponde a uma turma criada por um professor), idQuestion corresponde ao número de cada pergunta dentro do questionário.

id	userid	idClass	sessionId	score	time	nErrors	idMode	idPathway	timestamp
734	0	0	636150779592541020-D4B4D261-4263-4EE3-9917-7FD003D...	8.65	9.23	37	2	9	2016-11-18 15:08:33
733	0	0	636150780313883950-7269B1F0-F669-4E38-B1EA-DD9B539...	5.32	6.25	69	2	9	2016-11-18 15:06:47
732	0	0	636150779594074100-29AD2DB9-6768-4C95-B3FC-99815FA...	28.34	6.12	8	2	9	2016-11-18 15:05:26
731	2305	24	636150779340483740-229E5B9C-58FD-4092-8522-BA2D72F...	35.56	5.25	6	2	9	2016-11-18 15:04:14
730	0	0	636150769513893890-D4B4D261-4263-4EE3-9917-7FD003D...	3.29	15.62	106	2	8	2016-11-18 14:58:09
729	0	0	636150774878571990-07ba58eea5f91f7bb39b725c93a27c0...	100	4.92	15	1	2	2016-11-18 14:56:06
728	0	0	636150772576007180-9c3b041c3df9633a908bfd6b681559b...	7.12	4.18	52	2	8	2016-11-18 14:51:50
727	0	0	636150769143823200-B0193A9C-C6E3-42A9-BF7C-E23171B...	5.24	8.33	68	2	8	2016-11-18 14:50:20
726	2305	24	636150768149877130-229E5B9C-58FD-4092-8522-BA2D72F...	17.06	7.45	16	2	8	2016-11-18 14:47:47
725	0	0	636150767264029770-9c3b041c3df9633a908bfd6b681559b...	3.78	7.9	98	2	8	2016-11-18 14:46:46

Figura 33. A tabela de respostas apresenta dados como o userId dos usuários (0 corresponde anônimo e um número diferente de 0 corresponde a um usuário cadastrado), IdClass (0 corresponde anônimo e um número diferente de 0 corresponde a uma turma criada por um professor), idMode corresponde a 1 Modo Estudo e 2 Modo Jogo, idPathway corresponde a uma via metabólica.

4.3.2 Conexão da Base de dados do ARMET com o RSTUDIO

Para realizar as análises estatísticas dos dados se conecta a base de dados e o RStudio usando o pacote RMySQL do R®, como é apresentado na Figura 34.

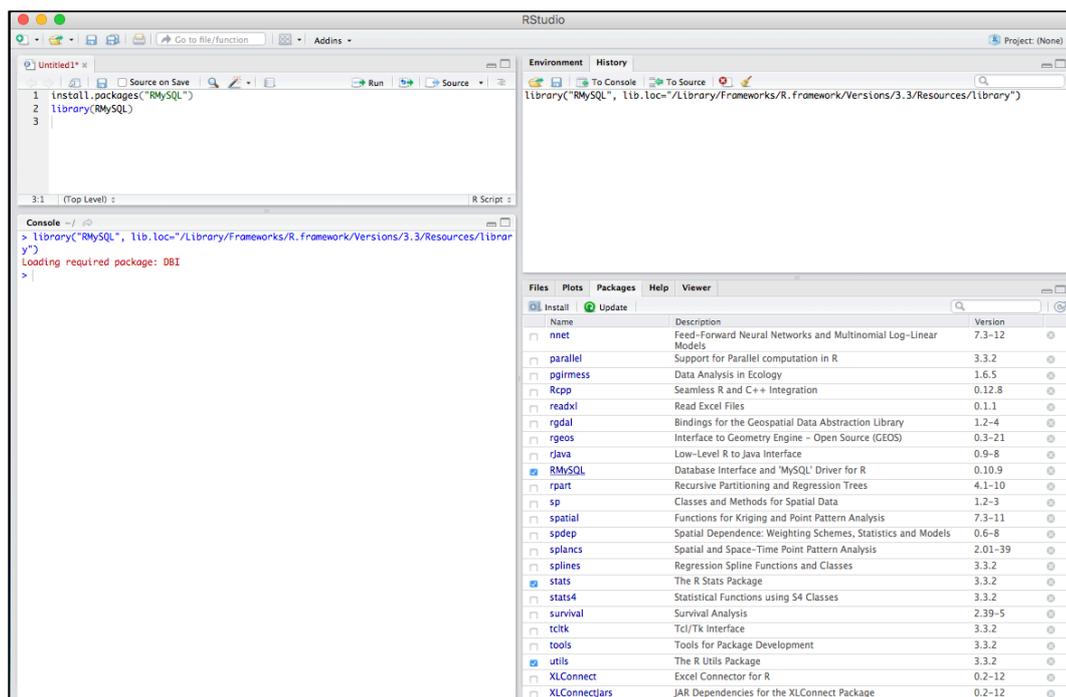


Figura 34. Tela principal do RStudio.

4.3.3 Análises estatísticas

Nesta seção são exibidos os resultados da análise das questões e questionários. Nas análises estatísticas descritivas foi usado como indicador a porcentagem de acertos e erros. Já nas análises estatísticas inferenciais foram aplicados testes de normalidade e de comparação de médias. Finalmente, na avaliação do comportamento e da dificuldade das diferentes questões foi realizado análises de Rasch (Bond e Fox, 2007).

4.3.3.1 Glicólise Modo Estudo

Quarenta e seis grupos de estudantes, pertencentes a seis turmas (duas de 2015, duas 2016 e duas 2017) que participaram da disciplina Introdução ao Metabolismo (BB381) dos cursos de Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Campinas, conseguiram montar a via passo a passo. O tempo médio que os alunos utilizaram para realizar a atividade foi de 19 minutos e 20 segundos (Tabela 7).

Tabela 7. Tempo médio glicólise Modo Estudo.

Min	3,32
Primeiro Quartil	9,31
Mediana	15,5
Media	19,5
Terceiro Quartil	25,3
Max	63,5
Desvio padrão	13,5

A variável tempo é muito importante para tentar entender como os alunos estão respondendo as questões. Se um aluno tem um elevado número de erros e gasta muito tempo respondendo o questionário, se pode pensar que o aluno está analisando cuidadosamente cada resposta. Se um aluno tem um elevado número de erros e gasta pouco tempo respondendo o questionário, se pode pensar que o aluno está tentando adivinhar a resposta correta.

A análise estatística das questões foi realizada com o objetivo de identificar os conceitos ou reações que foram mais difíceis para os alunos. Na Tabela 8, a porcentagem de acertos se refere ao número de alunos que conseguiram responder a cada pergunta sem cometer nenhum erro.

Tabela 8. Análise das questões do modo estudo da via glicólise.

	Q1. Seu ponto de partida é a molécula que usualmente surge no sangue como resultado da quebra de polissacarídeos maiores.	Q2. A primeira reação da glicólise é a transferência de um grupo fosfato do ATP para a glicose. Esta reação é catalisada pela hexoquinase.	Q3. A segunda reação da glicólise é a conversão de glicose-6-fosfato, pela fosfoglicose isomerase. Esta é a isomerização de uma aldose em cetose.	Q4. Na terceira reação da glicólise, a fosfofrutoquinase fosforila a frutose-6-fosfato.	Q5. A reação 4 da glicólise é a clivagem da fructose-1,6-bisfosfato para formar duas trioses, uma das quais é dihidroxiacetona fosfato.
# erros	5	16	19	3	35
# acertos	41	30	27	43	11
% acertos	89,13	65,22	58,70	93,48	23,91
% erros	10,87	34,78	41,30	6,52	76,09
	Q6. A próxima reação envolve a oxidação e fosforilação de gliceraldeído-3-fosfato por NAD ⁺ e Pi, catalisada pela gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase.	Q7. A sexta reação da via glicolítica resulta na primeira formação de ATP, em uma reação catalisada pela fosfoglicerato quinase. (Nota: a quinase transfere um grupo fosfato entre o ATP e um metabólito).	Q8. Na reação 7 da glicólise, o 3-fosfoglicerato é convertido pela fosfoglicerato mutase. (Uma mutase catalisa a transferência de um grupo funcional de uma posição para outra em uma mesma molécula).	Q9. Na próxima reação da glicólise, 2-fosfoglicerato é desidratado em uma reação catalisada pela enolase.	Q10. Na nona reação da glicólise, a reação final, a piruvato quinase une a energia livre da hidrólise do fosfoenolpiruvato para fazer a síntese de ATP para formar a molécula final.
# erros	15	12	5	7	4
# acertos	31	34	41	39	42
% acertos	67,39	73,91	89,13	84,78	91,30
% erros	32,61	26,09	10,87	15,22	8,70

Para avaliar se existem diferenças estatísticas significantes entre o número de acertos e erros entre as diferentes questões foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965). Os resultados da Tabela 9 mostram que os dados não possuem distribuição normal ($p < 0,05$).

Tabela 9. Resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

shapiro.test p-value	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
	$3,35 \times 10^{-14}$	$2,18 \times 10^{-11}$	$2,01 \times 10^{-13}$	$1,36 \times 10^{-14}$	$1,42 \times 10^{-09}$	$1,29 \times 10^{-10}$	$2,17 \times 10^{-12}$	$5,44 \times 10^{-13}$	$2,88 \times 10^{-14}$	$2,73 \times 10^{-13}$

Como os dados não possuem distribuição normal foi escolhida a prova não paramétrica de comparação de médias de Kruskal-Wallis (Kruskal e Wallis, 1952). O resultado ($p < 2,2 \times 10^{-16}$) da comparação de médias mostrou que pelo menos uma das questões é diferente das outras.

Para determinar entre quais questões existem diferenças estatisticamente significantes, foi realizado o teste de comparação múltipla after Kruskal-Wallis (Giraudoux, 2017). Comparando o número de erros de cada questão como é mostrado na Figuras 35 e 36,

verificou-se que há diferença estatisticamente significativa apenas entre a Q5 e as outras questões.

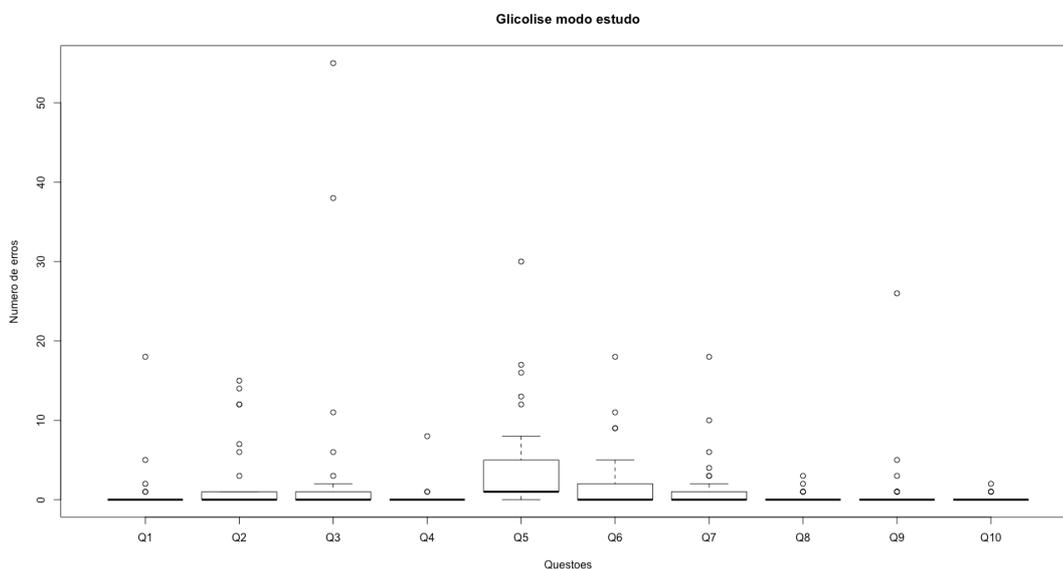


Figura 35. O *boxplot* mostra a distribuição de erros para cada uma das perguntas. Os resultados obtidos mostraram que há diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) apenas entre Q5 e as outras questões.

```
Multiple comparison test after Kruskal-Wallis
p.value: 0.05
Comparisons
obs.dif critical.dif difference
Q1-Q10 7.4456522 90.38465 FALSE
Q1-Q2 54.6739130 90.38465 FALSE
Q1-Q3 66.5000000 90.38465 FALSE
Q1-Q4 11.0760870 90.38465 FALSE
Q1-Q5 149.3478261 90.38465 TRUE
Q1-Q6 54.5652174 90.38465 FALSE
Q1-Q7 35.2173913 90.38465 FALSE
Q1-Q8 2.1413043 90.38465 FALSE
Q1-Q9 8.9456522 90.38465 FALSE
Q10-Q2 62.1195652 90.38465 FALSE
Q10-Q3 73.9456522 90.38465 FALSE
Q10-Q4 3.6304348 90.38465 FALSE
Q10-Q5 156.7934783 90.38465 TRUE
Q10-Q6 62.0108696 90.38465 FALSE
Q10-Q7 42.6630435 90.38465 FALSE
Q10-Q8 5.3043478 90.38465 FALSE
Q10-Q9 16.3913043 90.38465 FALSE
Q2-Q3 11.8260870 90.38465 FALSE
Q2-Q4 65.7500000 90.38465 FALSE
Q2-Q5 94.6739130 90.38465 TRUE
Q2-Q6 0.1086957 90.38465 FALSE
Q2-Q7 19.4565217 90.38465 FALSE
Q2-Q8 56.8152174 90.38465 FALSE
Q2-Q9 45.7282609 90.38465 FALSE
Q3-Q4 77.5760870 90.38465 FALSE
Q3-Q5 82.8478261 90.38465 FALSE
Q3-Q6 11.9347826 90.38465 FALSE
Q3-Q7 31.2826087 90.38465 FALSE
Q3-Q8 68.6413043 90.38465 FALSE
Q3-Q9 57.5543478 90.38465 FALSE
Q4-Q5 160.4239130 90.38465 TRUE
Q4-Q6 65.6413043 90.38465 FALSE
Q4-Q7 46.2934783 90.38465 FALSE
Q4-Q8 8.9347826 90.38465 FALSE
Q4-Q9 20.0217391 90.38465 FALSE
Q5-Q6 94.7826087 90.38465 TRUE
Q5-Q7 114.1304348 90.38465 TRUE
Q5-Q8 151.4891304 90.38465 TRUE
Q5-Q9 140.4021739 90.38465 TRUE
Q6-Q7 19.3478261 90.38465 FALSE
Q6-Q8 56.7065217 90.38465 FALSE
Q6-Q9 45.6195652 90.38465 FALSE
Q7-Q8 37.3586957 90.38465 FALSE
Q7-Q9 26.2717391 90.38465 FALSE
Q8-Q9 11.0869565 90.38465 FALSE
```

Figura 36. Os resultados do teste de comparação múltipla after Kruskal-Wallis mostraram que há diferença estatisticamente significativas (TRUE) apenas entre a Q5 e as outras questões.

Para estabelecer porque a Q5 tem um comportamento diferente das outras perguntas foi aplicado o modelo *Rasch* usando os pacotes *mirt* (Chalmers, 2012) e *ltm* (Rizopoulos, 2006) do *software* R. Os resultados obtidos mostraram que todas as questões se enquadram no modelo sem comportamento anormal. A maioria dos alunos com pouca habilidade têm 50% de chance de responder as perguntas corretamente, exceto a Q5 como é apresentado na Figura 37.

O modelo Rasch faz parte da Teoria da Resposta ao Item (TRI) ou *Item Response Theory* que está associada à avaliação de conhecimentos. TRI baseia-se na análise de cada item que integra uma escala. Qualquer dos modelos de TRI assume que é possível descrever matematicamente a relação entre a característica latente de um sujeito e a sua performance num item. Essa relação é designada por função de resposta do item ou curva característica do item (CCI) (Cunha, 2007).

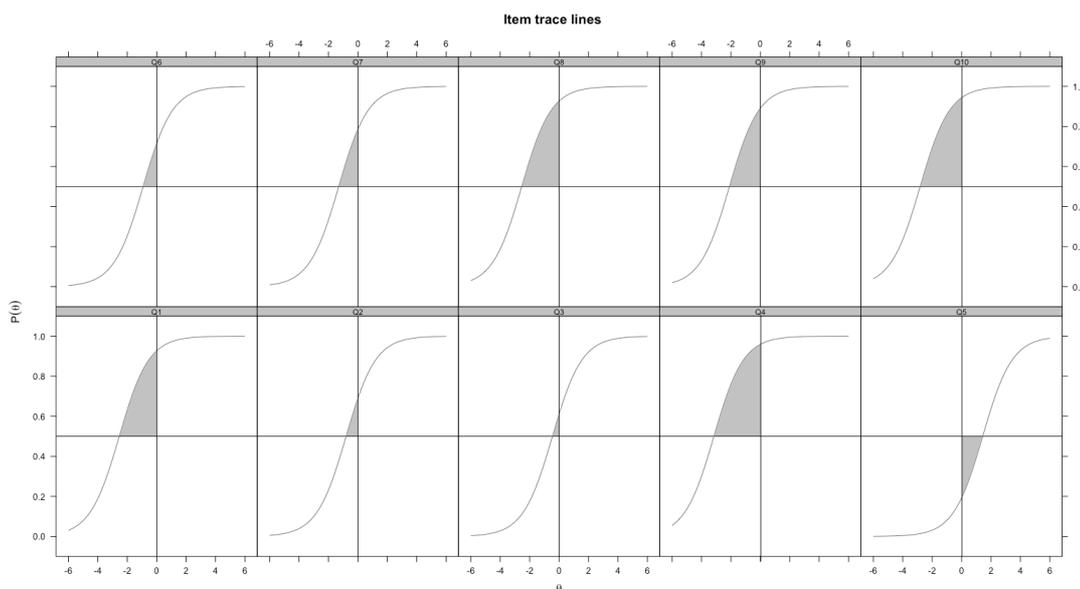


Figura 37. Curva Característica do Item (CCI) mostra a probabilidade de uma resposta correta $P(\theta)$ em função da capacidade dos alunos θ . Triângulos localizados no topo são considerados as perguntas mais fáceis. Triângulos localizados na parte inferior são considerados as questões mais difíceis. A área do triângulo é diretamente proporcional à facilidade ou dificuldade da questão.

As curvas características dos itens também permitem obter informação sobre a discriminação de cada questão. O modelo produz uma linha de rastreamento que é descrita pelos parâmetros de localização (b) e inclinação (a). O parâmetro b (também chamado de parâmetro de limite) é o ponto ao longo da ICC no qual a probabilidade de uma resposta positiva para um item dicotômico é de 50%. O parâmetro a (também chamado de parâmetro de

discriminação) representa a inclinação da ICC, uma inclinação mais acentuada indica um item mais discriminante (Orlando e Bryce, 2007).

Os resultados de discriminação são apresentados na figura 38, onde os itens 2, 4 e 8 têm o menor poder de discriminação.

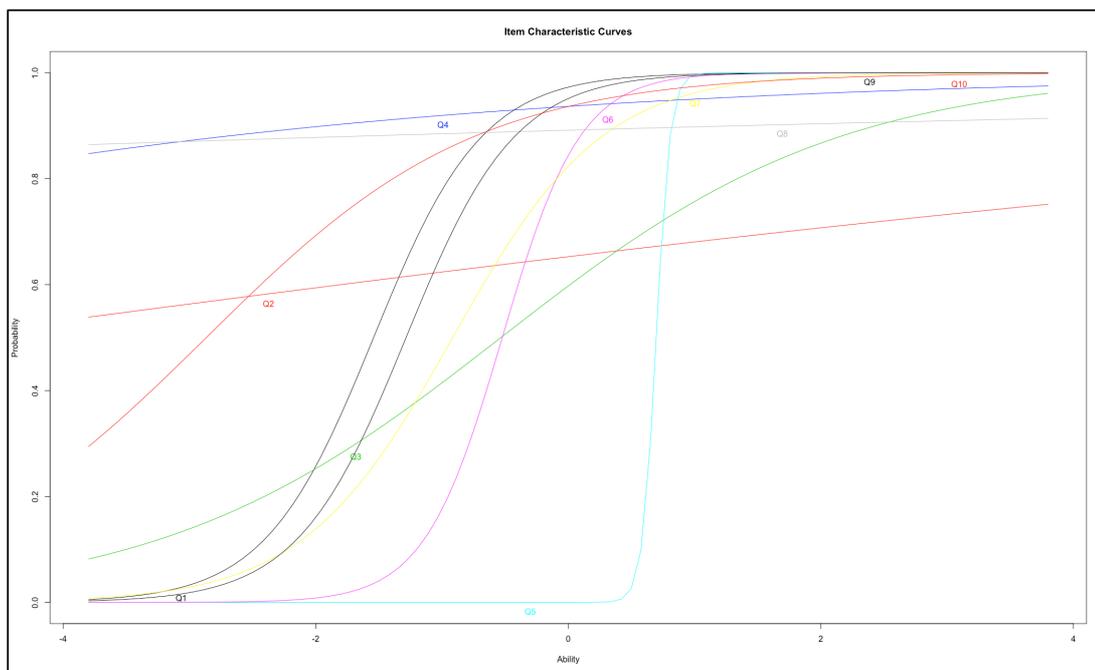


Figura 38. O parâmetro a (também chamado de parâmetro de discriminação) representa a inclinação da ICC, uma inclinação mais acentuada indica um item mais discriminante.

Outro parâmetro muito importante a ser avaliado é o ajuste de cada questão ao modelo descrito pela TRI. Na Tabela 10 são apresentados os valores de p para cada uma das questões. Valores menores ou iguais a 0,05 são considerados como o de não ajuste ao modelo. Questões com esse valor de p -value devem ser refeitas para corrigir problemas de dificuldade ou erros conceptuais.

Tabela 10. Resultados de p-value para cada uma das questões.

Questão	X ²	P-value
Q1	9,8283	0,2773
Q2	14,4449	0,0709
Q3	7,7292	0,4604
Q4	13,5921	0,093
Q5	50,0263	<0,0001
Q6	7,6948	0,4638
Q7	10,7776	0,2146
Q8	9,0716	0,3363
Q9	6,8453	0,5534
Q10	6,1980	0,6251

Sarraipa et al. (2009) desenvolveram e avaliaram um método para ensino da glicólise baseado na montagem da via metabólica assistida por computador. Os resultados mostraram que durante a montagem da via metabólica os alunos apresentaram uma tendência à diminuição do número de tentativas e erros ao longo das onze reações. Dentre as onze reações, os estudantes apresentaram maior dificuldade na primeira e na sexta reação. Comparando os resultados do ARMET com os obtidos por Sarraipa et al. (2009) o comportamento dos alunos mostra uma tendência semelhante, exceto para a questão 5. Os alunos tiveram dificuldade em entender o processo de reação em que apenas um dos produtos formado continuou na via.

Em resumo, pode-se pensar que o questionário tem um baixo nível de dificuldade, mas isto não deve ser considerado porque o modo de estudo é só um guia lógico para conseguir montar a via corretamente.

4.3.3.2 Glicólise Modo Jogo

Após a realização do modo Estudo, os alunos usam o modo Jogo, onde devem responder uma série de perguntas, o banco de perguntas atual tem 20 questões. Cada vez que uma nova seção começa, o aplicativo mostra aleatoriamente só 10 perguntas no Modo Jogo na tela do dispositivo móvel (Tabela 11).

Tabela 11. Questões Glicólise Modo Jogo.

Questões Glicólise Modo Jogo				
1. A glicólise é responsável por oxidar qual molécula?	2. Qual é o produto final da glicólise?	3. Qual é a molécula energética mais abundante e importante, chamada de "moeda de energia", de um ser vivo?	4. Qual é o destino metabólico da Dihidroxiacetona fosfato na via glicolítica?	5. Qual molécula é clivada em duas trioses-fosfato?
6. Qual molécula tem ativação em reações redox?	7. Qual molécula é obtida a partir da isomerização da glicose-6-fosfato?	8. Qual a última molécula da via glicolítica que tem um grupo fosfato removido?	9. Qual é o substrato da primeira reação de fosforilação da glicólise?	10. Qual é o substrato da primeira reação de isomerização da via glicolítica?
11. Qual é o substrato da segunda reação de fosforilação da via glicolítica?	12. Qual molécula é desidratada na via glicolítica?	13. Qual é o produto da segunda reação de isomerização da via glicolítica?	14. Qual é o substrato da mutase na via glicolítica?	15. Qual é o produto da mutase na via glicolítica?
16. Qual é o produto da segunda reação de fosforilação da glicólise?	17. Na obtenção de qual molécula o Mg ²⁺ aparece participando como co-factor pela primeira vez, durante a glicólise?	18. Qual é o produto da reação em que é produzido o NADH?	19. Qual é o substrato da segunda reação da via glicolítica que resulta na formação de ATP?	20. Qual é o substrato da primeira reação da via glicolítica que resulta na formação de ATP?

Vinte e quatro grupos de estudantes pertencentes a seis turmas (duas de 2015, duas 2016 e duas 2017) da disciplina Introdução ao Metabolismo (BB381) dos cursos de Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Campinas jogaram. O tempo médio que os alunos usaram para realizar a atividade foi de 7 minutos e 59 segundos (Tabela 12). A análise estatística das questões foi realizada com o objetivo de identificar os conceitos ou reações que foram mais difíceis para os alunos. Na Figura 39, a porcentagem de acertos se refere ao número de alunos que conseguiram responder a cada pergunta sem cometer nenhum erro.

Tabela 12. Tempo médio glicólise Modo Jogo.

Min	2,15
Primeiro Quartil	5,13
Mediana	7,55
Media	7,5
Terceiro Quartil	10
Max	20,1
Desvio padrão	3,56

id	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20
1	2	1	/	1	0	/	/	/	/	0	0	3	1	/	/	0	/	/	2	/
2	/	0	7	/	1	/	/	/	0	/	0	0	/	/	/	0	0	/	14	0
3	4	/	/	/	0	0	/	0	0	0	0	0	/	1	/	/	/	2	/	
4	0	0	0	1	/	/	0	/	0	0	/	/	12	/	/	/	0	1	/	/
5	0	0	/	0	/	/	/	/	0	/	1	/	1	/	0	/	0	0	0	/
6	/	0	0	0	1	0	0	/	/	0	/	/	9	0	/	10	/	/	/	/
7	/	0	1	0	0	/	/	0	0	/	0	0	/	0	0	/	/	/	/	/
8	/	0	0	/	0	0	0	0	/	1	/	0	0	/	/	0	/	/	/	/
9	/	0	0	1	/	/	/	/	1	0	/	0	/	0	/	0	0	0	0	0
10	0	0	0	18	/	/	/	3	/	0	/	5	/	/	/	1	1	0	/	/
11	/	/	/	/	0	/	/	0	/	0	/	1	3	0	1	1	/	0	/	0
12	/	1	0	0	/	/	/	/	16	5	/	/	9	1	/	2	/	4	/	2
13	0	/	0	/	/	0	/	1	/	0	2	0	/	/	2	/	0	/	0	1
14	/	2	0	7	0	/	/	/	1	0	/	/	30	4	0	/	3	/	/	/
15	/	0	0	4	0	/	/	/	/	0	15	0	15	0	0	/	0	/	0	/
16	13	/	/	/	1	/	0	0	/	/	18	/	2	/	/	9	/	1	4	0
17	/	0	/	/	/	/	/	1	/	/	0	0	0	0	0	1	11	0	/	/
18	5	3	/	0	0	/	0	/	/	0	/	1	/	1	/	/	/	2	8	/
19	7	/	1	2	/	8	0	/	/	/	5	/	/	/	20	8	/	10	41	/
20	13	0	/	/	/	0	0	/	0	/	0	/	3	/	/	0	2	0	0	/
21	7	/	0	0	/	0	0	/	/	0	/	0	/	0	5	0	/	/	/	/
22	/	/	/	/	0	1	1	/	4	20	/	8	41	8	/	4	/	/	/	18
23	4	1	0	/	2	0	/	/	/	0	0	/	0	0	0	/	/	/	0	/
24	0	1	0	/	0	2	/	/	/	0	/	1	/	/	4	11	/	7	/	/
Revers	13	14	16	13	14	9	9	9	9	13	15	13	13	11	12	15	12	12	10	8
%acertos	5	8	13	6	10	6	8	6	6	9	9	8	3	5	10	5	6	7	3	4
%erros	8	6	3	7	4	3	1	3	3	4	6	5	10	6	2	10	6	5	7	4
min %erros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
max %erros	13	3	7	16	2	8	1	1	16	20	18	8	41	9	20	9	11	10	41	18
%acertos	38,46	57,14	81,25	46,15	71,43	66,67	88,89	66,67	66,67	69,23	60,00	61,54	23,08	45,45	83,33	33,33	50,00	58,33	30,00	50
%erros	61,54	42,86	18,75	53,85	28,57	33,33	11,11	33,33	33,33	30,77	40,00	38,46	76,92	54,55	16,67	66,67	50,00	41,67	70,00	50

Figura 39. Tabela de resumo dos resultados do Modo Jogo Glicólise. Id corresponde ao número do grupo. Q1 a Q20 corresponde a cada questão do questionário. O símbolo / significa que esta questão não foi selecionada para este grupo.

Houve registro de respostas às perguntas em 240 vezes, 137 (57,1%) respostas estavam corretas na primeira tentativa.

Para avaliar se existem diferenças estatísticas significantes entre o número de acertos e erros entre as diferentes questões foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Os resultados da Tabela 13 mostraram que os dados não possuem distribuição normal ($p < 0,05$).

Tabela 13. Resultados teste de normalidade.

shapiro.test	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
p-value	0,0252	0,000777	$2,1 \times 10^{-04}$	$8,7 \times 10^{-02}$	$7,1 \times 10^{-02}$	$2,9 \times 10^{-02}$	$3,2 \times 10^{-04}$	0,0001526	$1,5 \times 10^{-02}$	$3,7 \times 10^{-03}$
shapiro.test	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20
p-value	$1,9 \times 10^{-02}$	$4,4 \times 10^{-02}$	0,00129	0,0004052	$1,7 \times 10^{-03}$	0,002401	0,000567	$9,9 \times 10^{-02}$	0,0003183	$5,9 \times 10^{-02}$

Como os dados não possuem distribuição normal foi escolhida a análise não paramétrica de comparação de medias de Kruskal-Wallis. O resultado ($p = 0,004755$) da comparação de médias mostrou que pelo menos uma das questões é diferente das outras.

Para determinar entre que questões existem diferenças estatisticamente significantes, foi realizado o teste de comparação múltipla Dunn's test (Dino, 2017) os resultados são mostrados nas figuras 40 e 41.

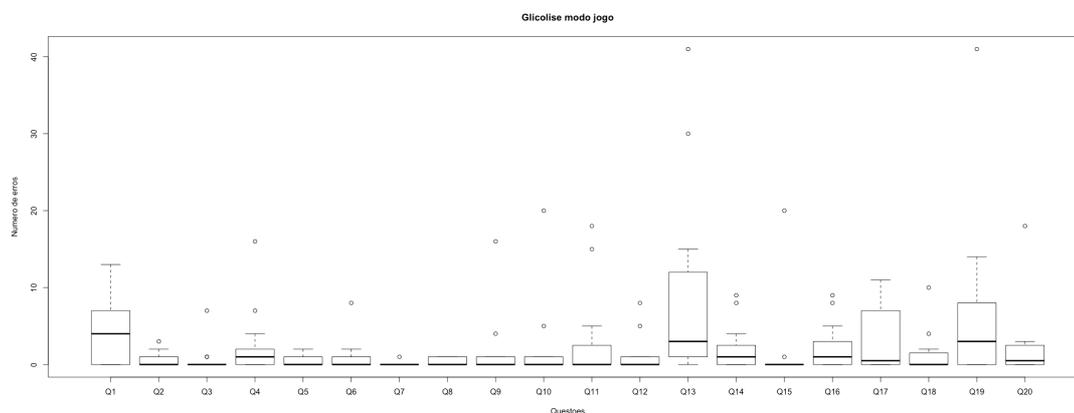


Figura 40. O *boxplot* mostra a distribuição de erros para cada uma das perguntas.

p-value	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20
	0.0525																			
	0.0041	0.1658																		
	0.2294	0.1978	0.0338																	
	0.0120	0.2618	0.3775	0.0700																
	0.0593	0.4497	0.2348	0.1996																
	0.0041	0.1136	0.3499	0.0259	0.2600	0.1636														
	0.0280	0.3167	0.3581	0.1103	0.4653	0.3753	0.2540													
	0.0779	0.4941	0.1928	0.2296	0.2813	0.4491	0.1340	0.3279												
	0.0398	0.4162	0.2317	0.1487	0.3393	0.4747	0.1582	0.3889	0.4198											
	0.1163	0.3246	0.0723	0.3381	0.1349	0.2984	0.0521	0.1883	0.3497	0.2543										
	0.0559	0.4999	0.1706	0.2021	0.2656	0.4503	0.1170	0.3190	0.4944	0.4176	0.3279	0.012								
	0.1683	0.0654	0.0002	0.0473	0.0007	0.0684	0.0003	0.0031	0.0122	0.0033	0.0159	0.0061	Q13							
	0.2430	0.2050	0.0397	0.4954	0.0775	0.1953	0.0296	0.1166	0.2344	0.1564	0.3408	0.2090	0.0561	Q14						
	0.0082	0.1997	0.4752	0.0499	0.4091	0.2646	0.3379	0.3861	0.2218	0.2662	0.0981	0.2037	0.0005	0.0560	Q15					
	0.4584	0.0613	0.0049	0.2576	0.0142	0.0682	0.3379	0.0326	0.0891	0.0419	0.1338	0.0650	0.1403	0.2712	0.0097	Q16				
	0.2565	0.1832	0.0314	0.4720	0.0648	0.1766	0.0241	0.1024	0.2143	0.1376	0.3153	0.1875	0.0585	0.4777	0.0462	0.2863	Q17			
	0.0529	0.4075	0.1207	0.2784	0.1586	0.3702	0.0840	0.2511	0.4229	0.3323	0.4212	0.4092	0.0130	0.2827	0.1498	0.1068	0.2595	Q18		
	0.2525	0.0159	0.0010	0.0910	0.0032	0.0201	0.0011	0.0087	0.0274	0.0105	0.0390	0.0173	0.4116	0.1013	0.0022	0.2203	0.1064	0.0314	Q19	
	0.2463	0.2432	0.0627	0.4833	0.1075	0.2278	0.0449	0.1459	0.2670	0.1928	0.3751	0.2463	0.0667	0.4798	0.0804	0.2722	0.4591	0.3177	0.1106	Q20

Figura 41. Os resultados obtidos mostraram que há diferença estatisticamente significativa nas comparações com um valor de $p < 0,05$ (indicados em negrito).

Segundo Ross et al. (2008), é bem estabelecido que as atividades de aprendizado destinadas a estimular movimentos físicos, emoções e criatividade nos alunos aumentam sua aquisição, compreensão e recuperação de novas informações. Nós também acreditamos que o uso de jogos, mesmo na faculdade, oferece a oportunidade de incluir alunos com diferentes estilos de aprendizagem. Além do número de erros nós concordamos com a hipótese de que os jogos criam uma "imagem mental" de processos moleculares ou submicroscópicos que permite aos alunos ligar mais facilmente as escalas macroscópicas e moleculares (submicroscópicas) que levam ao aumento da compreensão cognitiva de conceitos abstratos fundamentais que dependem da recuperação de uma imagem mental.

4.3.3.3 Ciclo de Krebs Modo Estudo

Quarenta e um grupos de estudantes pertencentes a seis turmas (duas de 2015, duas 2016 e duas 2017) da disciplina Introdução ao Metabolismo (BB381) dos cursos de Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Campinas conseguiram montar a via passo a passo. O tempo médio que os alunos levaram para realizar a atividade foi de 22 minutos e 40 segundos (Tabela 14). A análise estatística das questões foi realizada com o objetivo de identificar os conceitos ou reações que foram mais difíceis para os alunos. Na Tabela 15, a porcentagem de acertos se refere ao número de alunos que conseguiram responder a cada pergunta sem cometer nenhum erro.

Tabela 14. Tempo médio ciclo de Krebs Modo Estudo.

Min	1,23
Primeiro Quartil	13,2
Mediana	20,5
Media	22,4
Terceiro Quartil	29,4
Max	73,5
Desvio padrão	14,4

Tabela 15. Análise questões modo estudo ciclo de Krebs.

	Q1. A enzima Piruvato Desidrogenase, é responsável pela descarboxilação do Piruvato, formando um dos substratos do Ciclo de Krebs, qual?	Q2. O Ciclo de Krebs se inicia com a condensação de acetil-CoA e Oxaloacetato, reação catalisada pela enzima Citrato Sintase, formando...	Q3. O Citrato é isomerizado por ação da Aconitase, resultando na formação de um composto intermediário e liberação de H ₂ O, qual esse intermediário?	Q4. O cis-Aconitato sofre hidratação por meio da ação da Aconitase, resultando em um novo composto.
# erros	7	9	25	4
# acertos	34	32	16	37
% erros	17,07	21,95	60,98	9,76
% acertos	82,93	78,05	39,02	90,24
	Q5. O Isocitrato é oxidado com a participação da enzima Isocitrato Desidrogenase, com redução de NAD ⁺ , formando novamente uma molécula intermediária.	Q6. O Oxalosuccinato é oxidado com a participação da enzima Isocitrato Desidrogenase, ocorrendo liberação de CO ₂ , qual o produto dessa reação?	Q7. A enzima alfa-Cetoglutarato Desidrogenase promove a descarboxilação oxidativa de um alfa-cetoácido e ligação do grupo remanescente à coenzima A. Nesta reação ocorre liberação de CO ₂ e redução de NAD ⁺ e formação de...	Q8. A próxima reação é catalisada pela enzima Succinil-CoA sintetase, em que há a síntese de um nucleosídeo trifosfato e de...
# erros	15	13	9	9
# acertos	26	28	32	32
% erros	36,59	31,71	21,95	21,95
% acertos	63,41	68,29	78,05	78,05
	Q9. O Succinato é oxidado com a participação da enzima Succinato Desidrogenase e há redução de FAD a FADH ₂ e formação de...	Q10. O Fumarato é hidratado pela enzima Fumarase formando...	Q11. O Malato é oxidado com a participação da Malato Desidrogenase, que reduz o NAD ⁺ e fecha o ciclo. Como o composto formado é sempre regenerado ao final de cada volta, o Ciclo de Krebs pode oxidar acetil-CoA continuamente. Que composto é esse?	
# erros	11	0	3	
# acertos	30	41	38	
% erros	26,83	0,00	7,32	
% acertos	73,17	100,00	92,68	

Para avaliar se existem diferenças estatísticas significantes entre o número de acertos e erros entre as diferentes questões foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Os resultados da tabela 16 mostraram que os dados não possuem distribuição normal ($p < 0.05$).

Tabela 16. Resultados teste de normalidade.

shapiro.test	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11
p-value	3,44x10 ⁻¹³	6,59x10 ⁻¹³	1,67x10 ⁻⁰⁸	7,41x10 ⁻¹⁴	2,05x10 ⁻¹²	1,54x10 ⁻¹⁰	2,91x10 ⁻¹¹	2,91x10 ⁻¹²	1,94x10 ⁻⁰⁹	0	1,66x10 ⁻¹³

Como os dados não possuem distribuição normal foi escolhida a prova não paramétrica de comparação de médias de Kruskal-Wallis. O resultado ($p = 6,334e-10$) da comparação de médias mostrou que pelo menos uma das questões é diferente das outras.

Para determinar a existência de diferenças estatisticamente significantes, foi realizado o teste de comparação múltipla pós Kruskal-Wallis. Comparando o número de erros de cada questão como pode se observar nas Figuras 42 e 43, verificou-se que há diferença estatisticamente significativa apenas entre a Q3 e as questões Q1, Q4, Q10 e Q11.

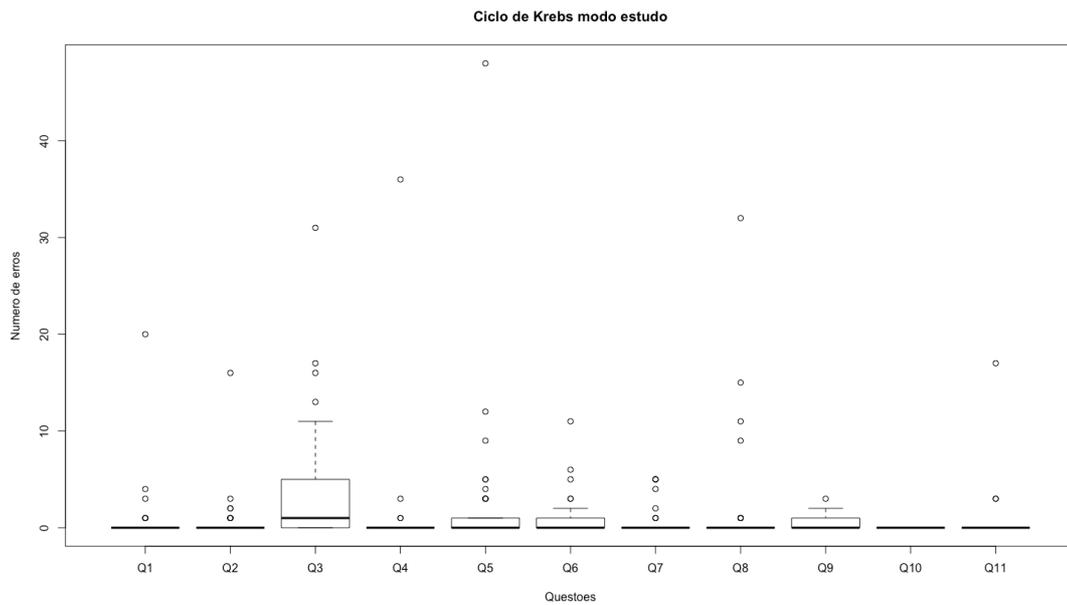


Figura 42. O *boxplot* mostra a distribuição de erros para cada uma das perguntas. Os resultados obtidos mostraram que há diferença estatisticamente significativa apenas entre a Q3 e as questões Q1, Q4, Q10 e Q11.

```

Multiple comparison test after Kruskal-Wallis
p.value: 0.05
Comparisons
obs.dif critical.dif difference
Q1-Q10 37.5000000 95.49218 FALSE
Q1-Q11 19.4268293 95.49218 FALSE
Q1-Q2 9.6951220 95.49218 FALSE
Q1-Q3 104.5975610 95.49218 TRUE
Q1-Q4 15.4512195 95.49218 FALSE
Q1-Q5 47.1585366 95.49218 FALSE
Q1-Q6 32.4512195 95.49218 FALSE
Q1-Q7 12.7682927 95.49218 FALSE
Q1-Q8 12.5487805 95.49218 FALSE
Q1-Q9 18.1585366 95.49218 FALSE
Q10-Q11 18.0731707 95.49218 FALSE
Q10-Q2 47.1951220 95.49218 FALSE
Q10-Q3 142.0975610 95.49218 TRUE
Q10-Q4 22.0487805 95.49218 FALSE
Q10-Q5 84.6585366 95.49218 FALSE
Q10-Q6 69.9512195 95.49218 FALSE
Q10-Q7 50.2682927 95.49218 FALSE
Q10-Q8 50.0487805 95.49218 FALSE
Q10-Q9 55.6585366 95.49218 FALSE
Q11-Q2 29.1219512 95.49218 FALSE
Q11-Q3 124.0243902 95.49218 TRUE
Q11-Q4 3.9756098 95.49218 FALSE
Q11-Q5 66.5853659 95.49218 FALSE
Q11-Q6 51.8780488 95.49218 FALSE
Q11-Q7 32.1951220 95.49218 FALSE
Q11-Q8 31.9756098 95.49218 FALSE
Q11-Q9 37.5853659 95.49218 FALSE
Q2-Q3 94.9024390 95.49218 FALSE
Q2-Q4 25.1463415 95.49218 FALSE
Q2-Q5 37.4634146 95.49218 FALSE
Q2-Q6 22.7560976 95.49218 FALSE
Q2-Q7 3.0731707 95.49218 FALSE
Q2-Q8 2.8536585 95.49218 FALSE
Q2-Q9 8.4634146 95.49218 FALSE
Q3-Q4 120.0487805 95.49218 TRUE
Q3-Q5 57.4390244 95.49218 FALSE
Q3-Q6 72.1463415 95.49218 FALSE
Q3-Q7 91.8292683 95.49218 FALSE
Q3-Q8 92.0487805 95.49218 FALSE
Q3-Q9 86.4390244 95.49218 FALSE
Q4-Q5 62.6097561 95.49218 FALSE
Q4-Q6 47.9024390 95.49218 FALSE
Q4-Q7 28.2195122 95.49218 FALSE
Q4-Q8 28.0000000 95.49218 FALSE
Q4-Q9 33.6097561 95.49218 FALSE
Q5-Q6 14.7073171 95.49218 FALSE
Q5-Q7 34.3902439 95.49218 FALSE
Q5-Q8 34.6097561 95.49218 FALSE
Q5-Q9 29.0000000 95.49218 FALSE
Q6-Q7 19.6829268 95.49218 FALSE
Q6-Q8 19.9024390 95.49218 FALSE
Q6-Q9 14.2926829 95.49218 FALSE
Q7-Q8 0.2195122 95.49218 FALSE
Q7-Q9 5.3902439 95.49218 FALSE
Q8-Q9 5.6097561 95.49218 FALSE

```

Figura 43. Os resultados do teste de comparação múltipla after Kruskal-Wallis mostraram que há diferença estatisticamente significante (TRUE) apenas entre a questão Q3 e as questões Q1, Q4, Q10 e Q11.

Para estabelecer o comportamento das perguntas foi aplicado o modelo *Rasch* usando os pacotes *mirt* e *ltm* do *software* R. Os resultados obtidos mostraram que todas as questões se enquadram no modelo sem comportamento anormal. A maioria dos alunos com pouca habilidade têm 50% de chance de responder as perguntas corretamente, exceto a Q3, apresentado na Figura 44.

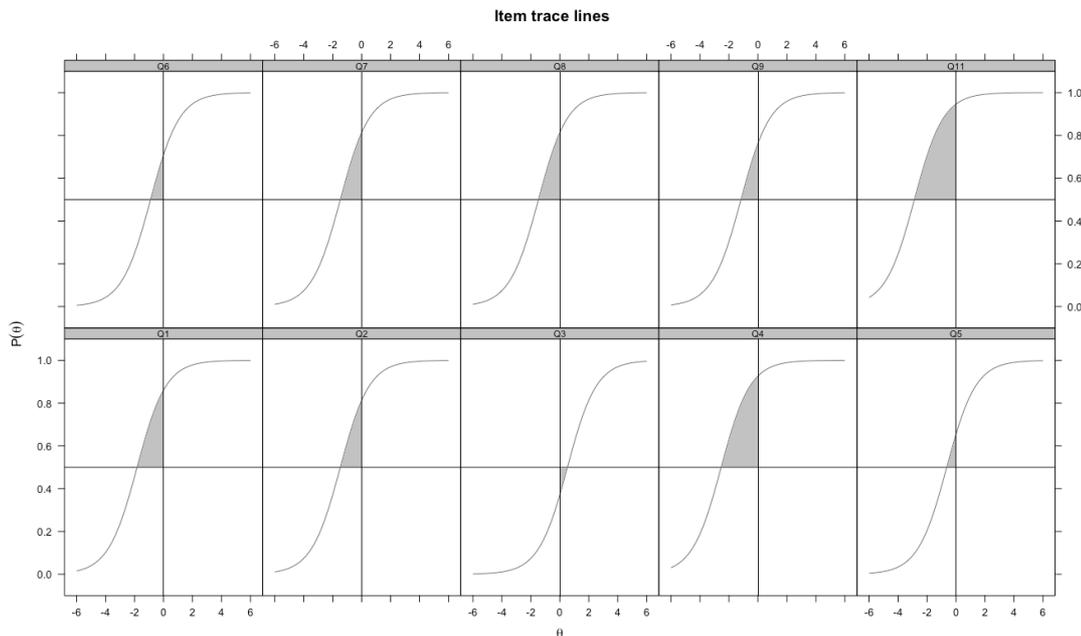


Figura 44. A Curva Característica do Item (CCI) mostra a probabilidade de uma resposta correta $P(\theta)$ em função da capacidade dos alunos θ . Triângulos localizados no topo são considerados as perguntas mais fáceis. Triângulos localizados na parte inferior são considerados as questões mais difíceis. A área do triângulo é diretamente proporcional à facilidade ou dificuldade da questão. Os resultados mostram que o questionário do ciclo de Krebs não tem questões difíceis.

Os resultados de discriminação são apresentados na Figura 45, onde se mostra como os itens 5 e 10 têm o menor poder de discriminação.

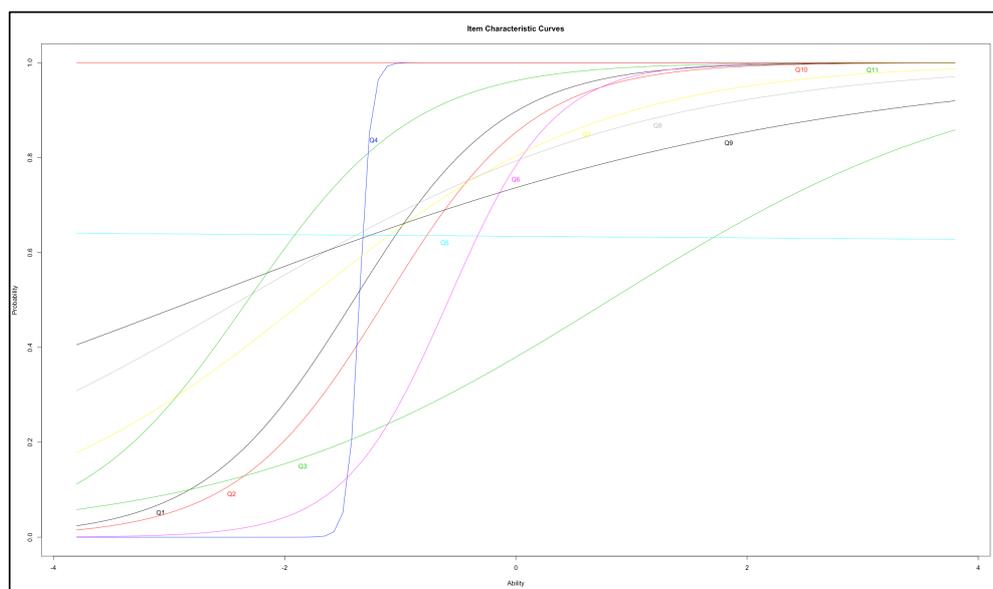


Figura 45. O parâmetro a (também chamado de parâmetro de discriminação) representa a inclinação da ICC, uma inclinação mais acentuada indica um item mais discriminante.

O parâmetro de ajuste ao modelo descrito pela TRI, na Tabela 17 mostra que as questões 3 e 9 ($p < 0,05$) devem ser refeitas para corrigir problemas de dificuldade ou erros conceptuais.

Tabela 17. Resultados dos valores de p para cada uma das questões.

Questão	X ²	P-value
Q1	3,2765	0,9158
Q2	11,3464	0,1828
Q3	16,5430	0,0352
Q4	2,3907	0,9666
Q5	5,3283	0,722
Q6	10,1863	0,2522
Q7	10,8839	0,2084
Q8	5,7561	0,6745
Q9	20,9651	0,0072
Q10	0,0000	1
Q11	6,2480	0,6195

Em resumo, pode-se pensar que o questionário tem um baixo nível de dificuldade, mas isto não deve ser considerado porque o modo de estudo é só um guia lógico para conseguir montar a via corretamente.

4.3.3.4 Ciclo de Krebs Modo Jogo

Após a realização do modo Estudo, os alunos usam o modo Jogo, onde devem responder uma série de perguntas sorteadas de um banco de 20 questões. Cada vez que uma nova seção começa, o aplicativo mostra aleatoriamente só 10 perguntas no Modo Jogo na tela do dispositivo móvel (Tabela 18).

Tabela 18. Questões do Ciclo de Krebs Modo Jogo.

Questões Ciclo de Krebs Modo Jogo				
1. É obtida a partir da descarboxilação do Piruvato?	2. É formado ao final de cada volta do Ciclo de Krebs?	3. Nucleosídeo trifosfato produzido no Ciclo de Krebs?	4. Molécula obtida a partir da isomerização do Citrato?	5. Qual é a primeira molécula de 6 carbonos do Ciclo de Krebs?
6. Qual molécula é reduzida no Ciclo de Krebs?	7. Qual a primeira molécula desidratada no Ciclo de Krebs?	8. Qual é a coenzima mais abundante no Ciclo de Krebs?	9. Composto rico em energia formado no Ciclo de Krebs?	10. Qual é o produto da desidratação do Citrato?
11. Qual é o substrato da primeira reação com liberação de CO ₂ do Ciclo de Krebs?	12. Qual é o substrato da segunda reação com liberação de CO ₂ do Ciclo de Krebs?	13. Qual é a molécula hidratada pela enzima fumarase?	14. Qual é o produto da primeira reação com liberação de CO ₂ do Ciclo de Krebs?	15. Qual é o produto da segunda reação com liberação de CO ₂ do Ciclo de Krebs?
16. O Ciclo de Krebs é responsável por oxidar qual molécula?	17. Qual a primeira molécula hidratada no Ciclo de Krebs?	18. Qual é o substrato da última reação do Ciclo de Krebs?	19. Qual é o produto da última reação do Ciclo de Krebs?	20. Qual é a coenzima menos abundante no Ciclo de Krebs?

Vinte e cinco grupos de estudantes pertencentes a seis turmas (duas de 2015, duas 2016 e duas 2017) da disciplina Introdução ao Metabolismo (BB381) do curso de Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Campinas jogaram. O tempo médio que os alunos levaram para realizar a atividade foi de 8 minutos e 31 segundos (Tabela 19). A análise estatística das questões foi realizada com o objetivo de identificar os conceitos ou reações que foram mais difíceis para os alunos. Na Figura 46, a porcentagem de acertos se refere ao número de alunos que conseguiram responder a cada pergunta sem cometer nenhum erro.

Tabela 19. Tempo médio ciclo de Krebs Modo Jogo.

Min	1,17
Primeiro Quartil	4,34
Mediana	7,33
Media	8,31
Terceiro Quartil	10,4
Max	25,5
Desvio padrão	5,54

id	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20
1	/	/	/	4	1	/	/	/	/	/	/	4	0	/	1	0	1	/	3	9
2	/	0	0	1	/	0	/	0	0	1	/	/	/	/	/	0	/	/	0	0
3	0	0	0	/	0	0	/	0	/	/	0	/	/	0	/	0	/	0	0	/
4	0	/	0	/	0	/	0	/	/	/	/	0	0	0	/	/	0	0	0	/
5	0	/	0	/	0	/	0	/	/	/	/	0	/	0	9	0	1	/	0	/
6	0	/	0	/	/	13	0	0	/	/	/	6	0	/	0	/	0	0	/	/
7	0	/	1	/	0	/	/	1	/	/	/	0	0	0	0	/	0	0	/	/
8	0	/	/	0	0	0	/	0	/	/	/	/	0	0	1	0	/	/	0	0
9	/	/	1	0	/	0	2	/	/	0	0	/	0	3	/	0	/	/	0	0
10	1	2	/	1	/	/	/	/	/	0	6	/	1	0	/	11	2	/	0	0
11	/	/	/	/	1	33	/	31	0	/	/	19	/	30	/	9	1	37	/	/
12	/	/	0	1	/	8	/	13	/	/	/	6	1	4	18	/	7	11	/	7
13	/	/	/	0	/	/	/	/	3	0	/	2	0	2	0	/	0	/	1	0
14	/	/	0	1	0	12	/	3	8	/	/	/	/	/	3	/	2	/	0	0
15	/	2	/	1	/	29	/	0	19	/	/	/	/	0	0	/	3	/	7	4
16	0	0	/	0	/	0	/	0	0	0	/	/	/	1	0	0	/	/	/	/
17	0	/	1	1	/	2	/	1	/	0	10	/	/	/	0	0	/	3	/	/
18	/	3	0	2	0	/	1	0	/	/	10	/	1	1	/	3	/	1	2	2
19	0	/	0	/	/	1	/	1	/	0	19	/	1	3	/	/	2	0	/	/
20	/	3	/	0	/	/	/	1	/	/	0	/	0	1	0	/	/	0	0	0
21	1	/	3	/	/	23	0	3	/	/	1	/	3	0	/	18	0	/	/	/
22	/	/	/	1	0	0	0	0	/	0	/	/	0	/	0	/	0	0	/	0
23	0	/	5	/	0	0	/	0	/	/	3	/	/	0	/	1	3	/	0	/
24	0	/	/	2	/	0	1	1	/	/	5	1	/	2	0	/	0	/	0	/
25	0	1	/	/	0	/	0	/	0	0	0	/	1	1	/	/	0	/	0	/
#vezes	13	10	12	15	13	16	8	19	8	9	10	10	12	16	14	10	19	12	11	13
#acertos	11	4	9	3	11	8	6	10	4	8	4	3	8	8	7	7	9	7	8	9
#erros	2	6	3	12	2	8	2	9	4	1	6	7	4	8	7	3	10	5	3	4
min#erros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
max#erros	1	7	5	4	1	33	1	31	19	1	19	19	1	30	18	9	18	37	3	9
%acertos	84,62	40,00	75,00	20,00	84,62	50,00	52,63	50,00	88,89	40,00	30,00	66,67	50,00	50,00	70,00	47,37	58,33	72,73	69,23	69,23
%erros	15,38	60,00	25,00	80,00	15,38	50,00	47,37	50,00	11,11	60,00	70,00	33,33	50,00	50,00	30,00	52,63	41,67	27,27	30,77	30,77

Figura 46. Tabela resumo dos resultados do Modo Jogo Ciclo de Krebs. Id corresponde ao número do grupo. Q1 a Q20 corresponde a cada questão do questionário. O símbolo / significa que esta questão não foi selecionada para este grupo.

Houve registro de 250 respostas às perguntas, das quais 144 respostas (57,6%) estavam corretas na primeira tentativa.

Para avaliar se existem diferenças estatísticas significantes entre o número de acertos e erros entre as diferentes questões foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Os resultados da Tabela 20 mostraram que os dados não possuem distribuição normal ($p < 0,05$).

Tabela 20. Resultados teste de normalidade.

shapiro.test	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
p-value	$4,0 \times 10^{-03}$	001762	$4,9 \times 10^{-02}$	0001023	$4,0 \times 10^{-03}$	00002788	$6,3 \times 10^{-02}$	$1,4 \times 10^{-04}$	0001259	$3,2 \times 10^{-04}$
shapiro.test	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20
p-value	0006748	001816	00001254	$4,2 \times 10^{-04}$	$3,8 \times 10^{-02}$	$1,3 \times 10^{-02}$	$3,8 \times 10^{-03}$	$4,2 \times 10^{-02}$	$1,4 \times 10^{-02}$	0000131

Como os dados não possuem distribuição normal foi escolhida a prova não paramétrica de comparação de médias de Kruskal-Wallis. O resultado ($p = 0,01317$) da comparação de médias mostrou que pelo menos uma das questões é diferente das outras.

Para determinar entre que questões existem diferenças estatisticamente significantes, foi realizado o teste de comparação múltipla Dunn's test, cujos resultados são mostrados nas Figuras 47 e 48.

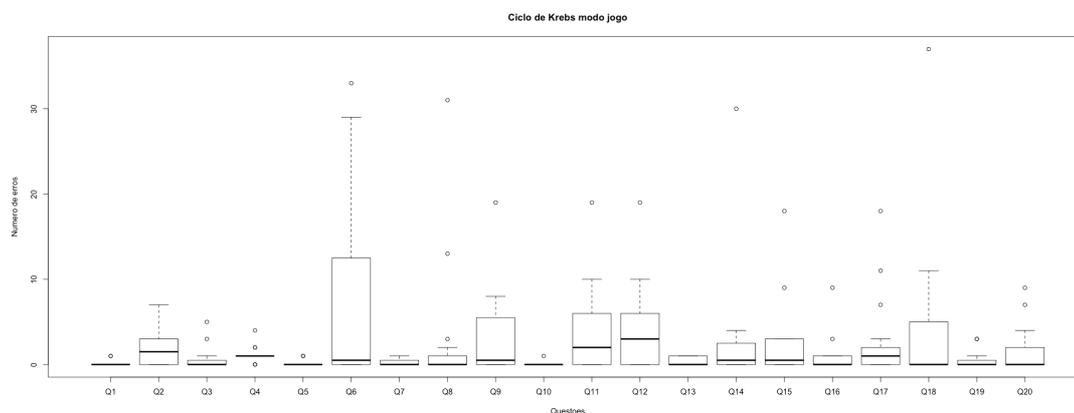


Figura 47. O *boxplot* mostra a distribuição de erros para cada uma das perguntas.

p-value	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	
0.2575	0.0549																				
0.0031	0.4123	0.0227																			
0.5000	0.0123	0.2575	0.0031																		
0.3704	0.0443	0.3940	0.0201	0.3704	0.0291																
0.0375	0.2180	0.1511	0.1255	0.0375	0.1753	0.1163															
0.0297	0.4182	0.0993	0.3334	0.0297	0.3994	0.0779	0.3122														
0.4438	0.0142	0.2325	0.0046	0.4438	0.0072	0.3409	0.0413	0.0307	0.0307	0.0307											
0.0045	0.3557	0.0251	0.4387	0.0045	0.3532	0.0214	0.1205	0.2950	0.0558	0.0558	0.3238										
0.0010	0.2118	0.0074	0.2563	0.0010	0.1958	0.0070	0.0450	0.1683	0.0015	0.3238	0.0247	0.0073	0.1133								
0.2601	0.0541	0.4969	0.0222	0.2601	0.0333	0.3967	0.1491	0.0981	0.2349	0.0247	0.0073	0.1133	0.1076	0.4540							
0.0252	0.2972	0.1091	0.1980	0.0252	0.2604	0.0855	0.3957	0.3938	0.0286	0.1806	0.0778	0.1076	0.1076	0.4540	0.1680	0.1503					
0.0224	0.3386	0.0964	0.2357	0.0224	0.3068	0.0759	0.3539	0.4334	0.0254	0.2157	0.1002	0.0950	0.0950	0.4540	0.1680	0.1503	0.1503				
0.1865	0.1010	0.3950	0.0527	0.1865	0.0740	0.3088	0.2477	0.1595	0.1713	0.0527	0.0189	0.3921	0.1885	0.1680	0.1503	0.1503	0.1503	0.4593			
0.0152	0.3351	0.0799	0.2286	0.0152	0.2991	0.0641	0.3353	0.4355	0.0189	0.2065	0.0898	0.0786	0.4435	0.4932	0.1503	0.4593	0.4593	0.4593			
0.0320	0.3169	0.1195	0.2235	0.0320	0.2854	0.0931	0.3927	0.4081	0.0343	0.2019	0.0947	0.1179	0.4889	0.4679	0.1503	0.4593	0.4593	0.4593	0.4593		
0.2419	0.0659	0.4749	0.0296	0.2419	0.0434	0.3742	0.1750	0.1138	0.2192	0.0316	0.0100	0.4719	0.1285	0.1138	0.4204	0.0970	0.1381	0.1381	0.1381	0.1381	
0.1191	0.1256	0.3069	0.0652	0.1191	0.0924	0.2349	0.3102	0.1960	0.1134	0.0652	0.0228	0.3041	0.2364	0.2102	0.4171	0.1897	0.2432	0.2432	0.2432	0.2432	0.2432

Figura 48. Os resultados obtidos mostraram que há diferença estatisticamente significativa nas comparações com um $p < 0,05$ (indicados em negrita).

Mais que avaliar o número de erros e acertos, nosso principal objetivo é ajudar ao aluno para aprender os conceitos fundamentais do metabolismo. Esses conceitos gerais e os princípios fundamentais são constantemente apresentados aos alunos principalmente nas questões próprias e nos três roteiros, disponíveis na seção de documentos. O ARMET foi projetado para enfatizar os elementos fundamentais das vias metabólicas. Assim, em todas as vias metabólicas presentes no aplicativo sempre estão presentes os seguintes elementos bioquímicos: substratos, produtos, produtos intermediários, enzimas, compostos essenciais, indispensáveis, reações reversíveis e irreversíveis e seus mecanismos regulatórios.

O ARMET foi projetado para deixar claro aos alunos que o produto de uma reação se torna o substrato para outra reação e, portanto, o conceito de via metabólica é criado.

Não estamos sugerindo que o aluno seja capaz de organizar toda a via apenas analisando o arranjo estrutural das moléculas. A estrutura química do composto é apenas uma das muitas informações fornecidas para ajudar a montagem da via. Se o aluno presta atenção à informação dentro das perguntas, as pistas, a estrutura química e os nomes das moléculas, ele/ela pode ter informações suficientes para escolher a próxima molécula corretamente. O mais

importante é montar a via desde o início. Assim, o aluno pode acumular informações suficientes para montar todas as vias corretamente.

Com o objetivo de melhorar os resultados dos alunos levamos em conta as recomendações do último relatório do projeto Horizon (Adams et al, 2017) que substituiu a realidade aumentada pela realidade virtual e a realidade mista (Fig. 49). Essas novas tecnologias permitem incluir algumas animações importantes, como a transição detalhada das moléculas da via, a fim de que o aluno entenda quais elementos são essenciais e o papel de cada um deles em cada etapa da via. Para isso nós desenvolvemos um novo aplicativo chamado VRMET (*Virtual Reality Metabolic Pathways*).

<p>Consumer Technologies</p> <ul style="list-style-type: none"> > Drones > Real-Time Communication Tools > Robotics > Wearable Technology <p>Digital Strategies</p> <ul style="list-style-type: none"> > Location Intelligence > Makerspaces > Preservation & Conservation Technologies 	<p>Internet Technologies</p> <ul style="list-style-type: none"> > Blockchain > Digital Scholarship > Internet of Things > Syndication Tools <p>Learning Technologies</p> <ul style="list-style-type: none"> > Adaptive Learning Technologies > Microlearning Technologies > Mobile Learning > Next-Generation LMS > Virtual & Remote Laboratories 	<p>Social Media Technologies</p> <ul style="list-style-type: none"> > Crowdsourcing > Online Identity > Social Networks > Virtual Worlds <p>Visualization Technologies</p> <ul style="list-style-type: none"> > 3D Printing > Information Visualization > Mixed Reality > Virtual Reality 	<p>Enabling Technologies</p> <ul style="list-style-type: none"> > Affective Computing > Artificial Intelligence > Big Data > Electro vibration > Flexible Displays > Mesh Networks > Mobile Broadband > Natural User Interfaces > Near Field Communication > Next-Generation Batteries > Open Hardware > Speech-to-Speech Translation > Virtual Assistants > Wireless Power
---	---	---	--

Figura 49. A última atualização do Projeto Horizon substituiu a realidade aumentada pela realidade virtual e a realidade mista. Adaptado de (Adams et al., 2017).

5. VRMET

O termo "realidade virtual" pode ser definido como um ambiente tridimensional imersivo, interativo, multissensorial, centrado no espectador e gerado por computador, que leva em conta a combinação de tecnologias necessárias para construir esses ambientes (Mazuryk e Gervautz 1999).

Desenvolvimento do aplicativo: O aplicativo VRMET foi desenvolvido utilizando-se a plataforma de desenvolvimento *Unity3D*, o kit de desenvolvimento *Vuforia Augmented Reality* e o kit de desenvolvimento do *Google VR* para *Unity3D*. Todos os modelos das moléculas foram adquiridos a partir de licenças gratuitas ou de domínio público (*Protein Data Bank* e *ChemSpider*), passando por posteriores adaptações e polimentos através do software livre *Blender*.

Hardware e Software Requerimentos: VRMET requer um celular com câmera e óculos de realidade virtual. O VRMET foi testado em um celular Moto G com sistema operacional Android 7.0.

Baixando o *App*: O VRMET está disponível apenas para dispositivos Android. O usuário pode encontrar o aplicativo na *Google Play*, digitando VRMET no campo de busca (Fig. 50).



Figura 50. Resultado da pesquisa do VRMET na *Google Play*.

Antes de Executar o VRMET: Depois de instalar o VRMET no seu dispositivo, existe uma etapa a ser realizada antes de se usar o *App*. É necessário imprimir um marcador de Realidade Aumentada. Para isto, deve-se usar o botão Documentos no canto inferior esquerdo da tela (Fig. 51).

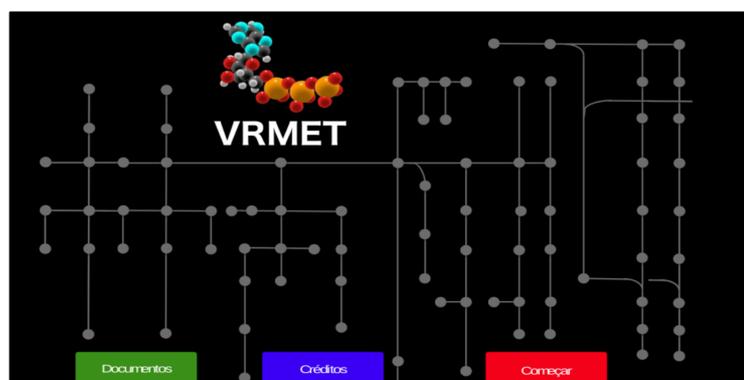


Figura 51. Tela principal do VRMET.

O usuário precisa imprimir o marcador (Fig. 52) para poder usar todas as funcionalidades do aplicativo. A opção de impressão encontra-se no botão Mais Opções, no canto superior direito da tela. É necessária uma impressora compatível com o sistema Android, de modo que o dispositivo possa enviar o arquivo diretamente a ela. Também pode-se salvar o arquivo direto no dispositivo, enviá-lo para um *e-mail* pessoal e em seguida imprimí-lo a partir de um *desktop* conectado a uma impressora.

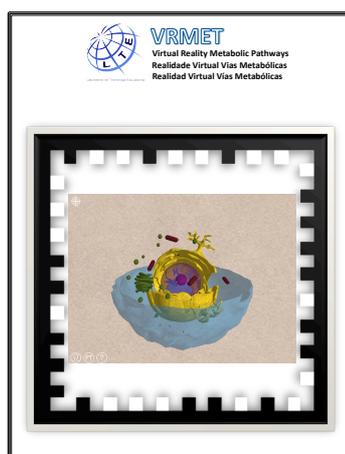


Figura 52. Marcador VRMET.

Executando o VRMET: Com o marcador (anexo 11) impresso em mãos, o usuário pode, então, iniciar o VRMET. Na tela principal do aplicativo, a cena de realidade aumentada é carregada. Nesta cena, o usuário precisa apontar a câmera para o marcador impresso. Projeta-se, virtualmente, um modelo 3D de uma célula animal e dois botões. Cada um deles leva o usuário para seções específicas do aplicativo, tais como voltar para o menu principal e para a cena de realidade virtual (VR) (Figura 53).

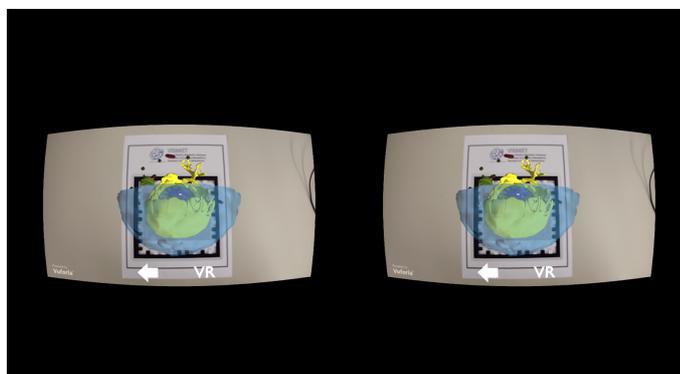


Figura 53. Cena de Realidade Aumentada do VRMET.

Na cena de realidade aumentada, o usuário pode interagir com o modelo 3D da célula animal. Para tal, o usuário pode mover o marcador de papel suavemente, para conseguir observar a célula de diferentes ângulos.

No centro do campo de visão do usuário aparece um pequeno ponto branco. Este ponto funciona como o *touch* de um *smartphone*. Para usar os botões do aplicativo, é necessário apontar o ponto branco sobre o botão escolhido durante 2 segundos, até que se carregue sua funcionalidade.

Cena de Realidade Virtual (RV): Uma vez ativado o botão RV, a partir da cena de realidade aumentada, a tela de realidade virtual será carregada (Figura 54).

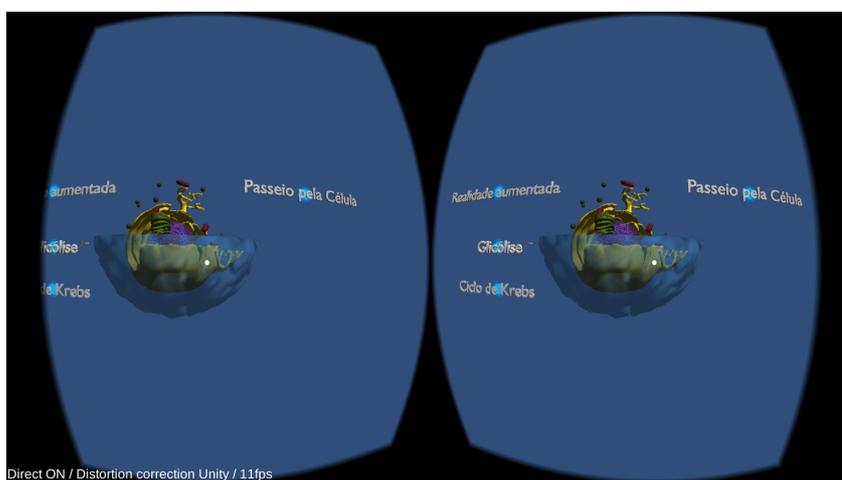


Figura 54. Cena de Realidade Virtual do VRMET.

A cena de realidade virtual tem quatro botões, a saber: Realidade aumentada, Passeio pela célula, Glicólise e Ciclo de Krebs. Para que qualquer uma destas cenas seja carregada, o usuário deve apontar o centro da câmera, que contém o ponto branco, para o círculo azul correspondente à cena que deseja carregar.

Passeio pela célula: Na cena de passeio pela célula, o usuário é imerso no ambiente que permeia o modelo de célula do aplicativo. Nesta seção, é possível observar a célula como um todo e suas diferentes organelas a partir de diferentes ângulos. A partir de um ponto inicial, diversos círculos azuis aparecerão ao longo da célula, indicando para onde a câmera se deslocará quando o usuário apontar para aquele círculo. Estes surgirão na tela individualmente,

de modo que o caminho a ser seguido é pré-determinado pelo aplicativo. Ao longo do passeio, diferentes organelas são expostas ao usuário, permitindo que seu interior possa ser visualizado (Fig. 55). Isto é particularmente importante para a mitocôndria, pois suas estruturas internas são amplamente estudadas no ensino de metabolismo. Ao final do caminho, surgirá um botão azul indicando seu término. Então, o usuário deverá voltar a tela inicial de realidade virtual e escolher uma nova opção para navegar pelo aplicativo.

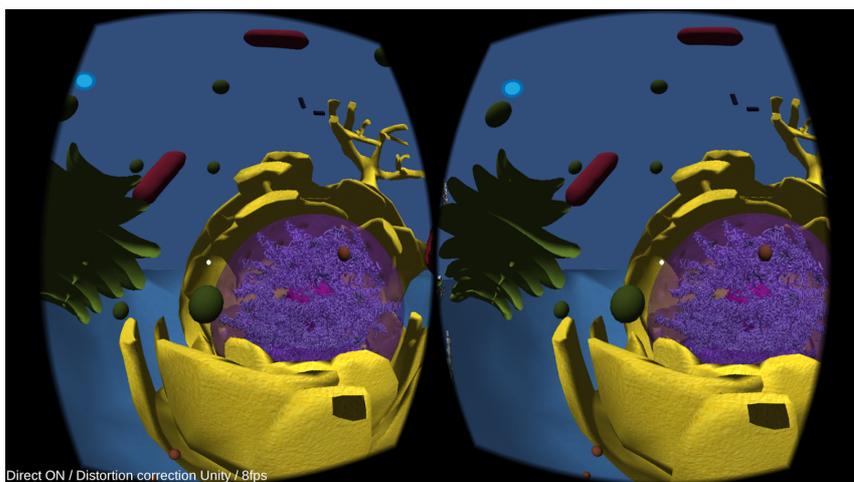


Figura 55. Passeio pela célula.

Glicólise e Ciclo de Krebs: Duas vias metabólicas estão disponíveis no aplicativo atualmente, sendo elas a Glicólise (Figura 56) e o Ciclo de Krebs (Figura 57). Assim como descrito pelos livros de bioquímica, o VRMET mostra o passo-a-passo das reações químicas que ocorrem entre as moléculas que participam de cada uma das vias. Ao escolher a via da glicólise ou o Ciclo de Krebs, o usuário é imergido para dentro da célula. Desse modo, poderá acompanhar de perto como e onde ocorre cada uma das reações da via. É possível observar a via por completo, assim, o usuário é capaz de perceber a via como um todo, em que o produto de uma reação será o substrato da próxima, e assim por diante.

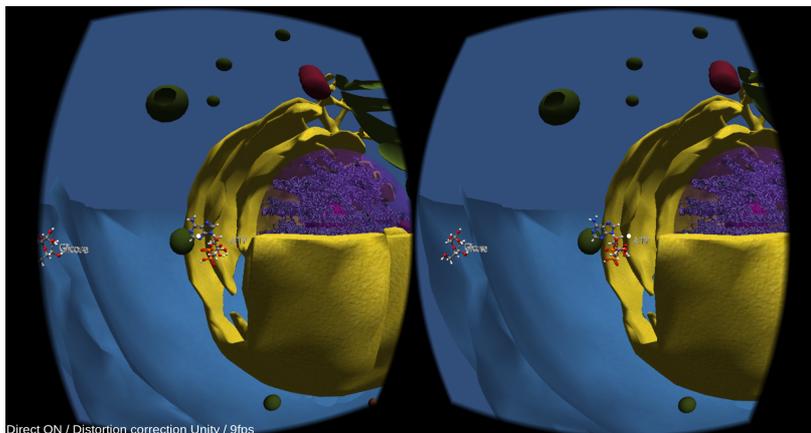


Figura 56. Glicólise.

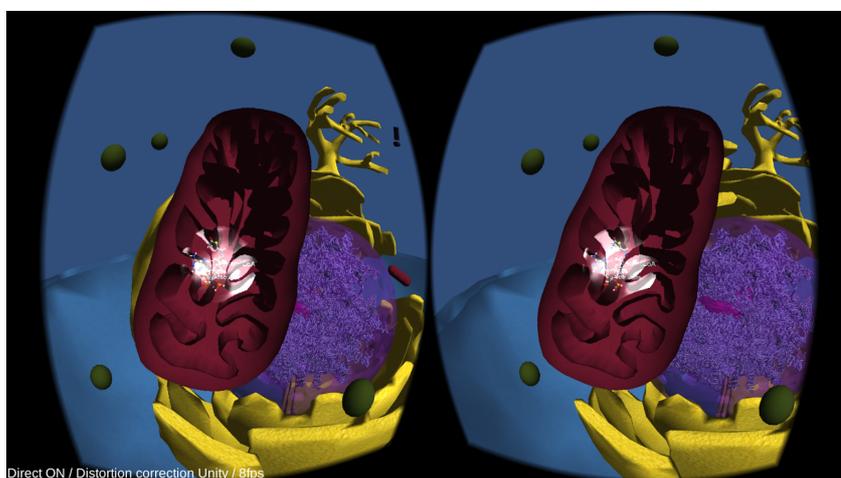


Figura 57. Ciclo de Krebs.

Proposta pedagógica: Durante uma aula experimental em sala de aula, prevista para durar cerca de duas horas, os estudantes devem ser divididos em pequenos grupos (cerca de 3 integrantes cada), e cada grupo recebe um marcador, um óculos de realidade virtual e deve possuir um celular com o VRMET instalado.

A primeira atividade proposta é reconhecer as diferentes estruturas de uma célula animal através do modelo 3D da cena de realidade aumentada. Uma vez estudadas as diferentes organelas, os alunos são convidados a ativar a cena de realidade virtual, para se fazer um reconhecimento mais detalhado das organelas celulares.

A opção passeio pela célula permite-lhes observar mais de perto cada organela e ter a percepção de estarem mergulhando no citoplasma. Uma vez que o estudo da célula é completado, os alunos são convidados a começar o estudo da Glicólise. Através desta opção, eles podem acompanhar cada uma das reações desta via bioquímica, visualizando a estrutura

molecular de substratos e produtos a partir de modelos moleculares tridimensionais. Além disso, são capazes de perceber as mudanças de cada molécula no decorrer desta via.

As modificações estruturais das moléculas permitem aos estudantes entenderem os princípios básicos sobre o fluxo e troca de compostos e energia ao longo do metabolismo. Além disso, a tecnologia de realidade virtual permite-lhes a aquisição de informações sobre o contexto das reações, ou seja, em que lugar da célula ocorre cada reação (citoplasma ou organela). Finalmente, os alunos são convidados a estudar o Ciclo de Krebs seguindo a mesma lógica e instruções da Glicólise.

6. CONCLUSÕES

Desenvolvimento: ARMET está atualmente na versão 1.5, todas as versões foram avaliadas durante a aula. Acreditamos que o resultado é um aplicativo altamente estável e funcional.

Avaliação de Visibilidade: A ampla utilização do aplicativo nos três idiomas disponíveis pode-se interpretar como que os usuários acreditam que a aplicação é útil para o ensino e aprendizagem do metabolismo.

Avaliação de Usabilidade: O ARMET se encontra dentro da escala de classificação adjetiva em *OK*, o que significa segundo alguns pesquisadores que a usabilidade do produto é satisfatória, mas nós acreditamos que se precisam ainda algumas melhorias para aumentar o *score* de usabilidade percebida.

Avaliação de Utilidade: Os resultados indicam que os alunos acreditam que o ARMET é uma ferramenta útil para a aprendizagem de metabolismo. A valoração de percepção da utilidade dos recursos educacionais se constitui em uma valiosa contribuição para a avaliação formativa, porque o aluno é incluído e convidado a expressar objetivamente se as atividades acadêmicas realizadas cumprem as suas expectativas e se seus objetivos de aprendizagem estão sendo alcançados.

ARMET para estudantes: Durante a atividade de aula usando o ARMET têm sido observadas algumas características de várias habilidades desejáveis nos alunos, tais como debate acadêmico, revisão pelos pares, aprendizagem colaborativa, aprendizagem significativa e desenvolvimento de habilidades de literacia visual, características essenciais para interpretar modelos moleculares e mapas metabólicos. Essas habilidades facilitam criar modelos mentais para entender conceitos bioquímicos.

ARMET para professores: O ARMET fornece aos professores métricas transparentes e consistentes que lhes permitem sistematizar critérios e indicadores para reduzir a subjetividade do processo de avaliação. Com esta tecnologia, é possível verificar em tempo real o desempenho de cada aluno e determinar seu progresso, identificar erros e conduzir uma investigação aprofundada das possíveis causas, fornecendo uma melhor ferramenta pedagógica para estabelecer uma avaliação formativa eficaz para o ensino do metabolismo.

VRMET: A inclusão de um aplicativo de realidade virtual fornece a aquisição de informações sobre o contexto das vias metabólicas, ou seja, em que lugar da célula ocorre cada reação (citoplasma ou organela). Nós acreditamos que essa nova informação facilita que o aluno

adquira habilidades de literacia visual para criar modelos mentais e entender conceitos bioquímicos.

7. REFERÊNCIAS

Adams Becker S, Cummins M, Davis A, Freeman A, Hall Giesinger C, Ananthanarayanan V. 2017 NMC Horizon Report: 2017 Higher Education Edition. Austin, Texas: The New Media Consortium.

Bangor A, Kortum P, Miller J. 2009. Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, 4(3):114–123.

Bangor A, Kortum PT, Miller JT. 2008. An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6):574–594.

Bleed R. 2005. Visual Literacy in Higher Education. *Educause Learning Initiative*, 1:1–11.

Bond GT, Fox MC. 2007. Applying the Rasch Model Fundamental Measurement in the Human Sciences 2nd ed., Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Boucinha RM, Tarouco LMR. 2011. Avaliação de Ambiente Virtual de Aprendizagem com o uso do SUS - System Usability Scale Rafael. *Revista Novas Tecnologias em Educação*, 11(3):10.

Broadfoot P, Timmis S, Payton S, Oldfield A, Sutherland R. 2013. Learning analytics and technology enhanced assessment (TEA). Rethinking Assessment 2012/2013 Series of discussion papers Graduate School of Education University of Bristol., p.4. Available at: <http://www.bristol.ac.uk/media-library/sites/education/migrated/documents/learninganalytics.pdf>.

Brooke J. 2013. SUS : A Retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2):29–40.

Brosemer R. 1989. Metabolism : Where to Begin ? *Biochemical Education*, 17(1961): 31–33.

Brown AL. 1992. Design Experiments: Theoretical and Methodological Challenges in Creating Complex Interventions in Classroom Settings. *Journal of the Learning Sciences*, 2(2):141–178.

Castaño JG. 2004. El nuevo marco de la docencia universitaria. La bioquímica y la biología molecular del siglo. *Boletín Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular*, 141:18–22.

Chalmers P. (2012). mirt: A Multidimensional Item Response Theory Package for the R Environment. *Journal of Statistical Software*, 48(6), 1-29.

Collins A. 1990. Toward a design science of education. Technical Report No 1. Center for technology in education. New York.

Cunha LMA. 2007. Modelos Rasch e Escalas de Likert e Thurstone na medição de atitudes. Tese Mestrado em Probabilidades e Estatística. Universidade de Lisboa.

Dino A. 2017. Performs Dunn's test of multiple comparisons using rank sums. Available at:

<https://www.rdocumentation.org/packages/dunn.test/versions/1.3.3/topics/dunn.test>

Ellis D. 2012. Google Analytics as a tool in the development of e-learning artefacts: A case study. *Ascilite Wellington*. 299–303.

Epp C. 1985. Teaching Metabolic Pathways CHRIS. *Biochemical Education*, 13(2):73–75.
 Filatro A, Piconez SCB. 2004. Design Instrucional Contextualizado. *Anais do 11º Congresso Internacional de Educação a Distância*, 1–9.

Giraudoux P. 2017. Multiple Comparison Test After Kruskal-Wallis. Available at: <https://www.rdocumentation.org/packages/pgirmess/versions/1.6.5/topics/kruskalmc>

Johnson L, Adams Becker S, Cummins M, Estrada V, Freeman A, Ludgate H. 2013. *Horizon Report. 2013 Higher Education Edition*, Austin, Texas: The New Media Consortium.

Johnson L, Adams Becker S, Estrada V, Freeman A. 2014. *Horizon Report 2014 Higher Education Edition*.

Johnson L, Adams Becker S, Estrada V, Freeman A. 2015. *Horizon Report 2015 Higher Education Edition*.

Johnson L, Adams Becker S, Estrada V, Freeman A, Hall C. 2016. *The NMC Horizon Report: 2016 Higher Education Edition*, Austin, Texas.

Kirner CK, Kirner TG, Rezende MF, Souza RC: 2012. Capítulo 10. Realidade Aumentada Online na Educação Aberta. In A. Okada, ed. *Open Educational Resources and Social Networks*. London: The open university, 1–17.

Kruskal WH, Wallis WA. 1952. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260): 583–621.

Lobo da Costa N, Poloni M. 2011. Design based research: uma metodologia para pesquisa em formação de professores que ensinam matemática. In *XII Conferência Internacional de Educação Matemática*. Recife, Brasil, 1–10.

Lustosa M, Silva T, Vega JC, Galembeck E. 2015. Using a web analysis tool to evaluate an educational app usage. *Int. J. Mobile Learning and Organisation*, 9(2): 97-110.

Lustosa M, Silva T, Vega JC, Galembeck E. 2017. El potencial de las aplicaciones educativas en el proceso de evaluación formativa. *Revista Góndola , Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 12(2): 98–115.

Matloff N. 2011. *The Art of R Programming*, San Francisco: William Pollock.

Mattos C, Johnson M, White H, Sears D, Bailey C, Bell E. 2013. Introduction: Promoting concept driven teaching strategies in biochemistry and molecular biology. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 41(5): 287–288.

Mazuryk T, Gervautz M. 1999. *Virtual Reality History, Applications, Technology and Future*.

Institute of Computer Graphics Vienna University of Technology, Austria.

McClellan P, Johnson C, Rogers R, Daniels L, Reber J, Slator B, Terpstra J, White A. 2005. Molecular and Cellular Biology Animations: Development and Impact on Student Learning. *Cell Biology Education*, 4(2):169–179.

Mnguni L, Schönborn KA. 2016. Assessment of visualisation skills in biochemistry students. *South African Journal of Science*, 112(9):1–8.

Offerdahl EG, Momsen JL, Osgood M. 2014. Discussion Forum Commentary : PhDs in Biochemistry Education — 5 Years Later. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 42(2):103–105.

OPS/OMS. 1967. Primer informe sobre la enseñanza de la bioquímica en las escuelas de medicina de la América Latina. In *COMITE DE EXPERTOS DE LA OPS/OMS*. 89–97.

Orlando M, Bryce EAE. 2007. Applying item response theory (IRT) modeling to questionnaire development, evaluation, and refinement. *Qual Life Res*, 16:5–18.

Ramos P, Rabetti T, Miriam G. 2010. A Pesquisa Baseada em Design em Artigos Científicos Sobre o Uso de Ambientes de Aprendizagem Mediados Pelas Tecnologias da Informação e da Comunicação no Ensino de Ciências. *Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 3(1): 77–102.

Rinaudo MC, Donolo D. 2010. Una perspectiva prometedora en la investigación educativa. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 22: 1–29.

Rizopoulos D. (2006). ltm: An R package for Latent Variable Modelling and Item Response Theory Analyses. *Journal of Statistical Software*, 17 (5), 1-25.

Ross PM, Tronson DA, Ritchie RJ. 2008. Increasing Conceptual Understanding of Glycolysis & the Krebs cycle using role-play. *The American Biology Teacher*, 70(3):163–168.

Santos E, Weber E. 2013. Educação e cibercultura: aprendizagem ubíqua no currículo da disciplina didática. *Rev. Diálogo Educ.*, Curitiba, 13(38): 285–303.

Sarraipa M, Galembeck E. 2009. *Desenvolvimento e avaliação de um método para ensino da glicólise baseado na montagem da via metabólica assistida por computador*. tese de mestrado Instituto de Biologia. Universidade Estadual de Campinas.

Schonborn KJ, Anderson TR. 2006. Articles The Importance of Visual Literacy in the Education of Biochemists *. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34(2): 94–102.

Schultz E. 1997. A Guided Discovery Approach for Learning Glycolysis. *Biochemical Education*, 25(4): 205–208.

Shapiro SS, Wilk MB. 1965. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4): 591–611.

Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular Molecular.2004. Enseñar (y aprender)

bioquímica. *Boletín Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular*, 141: 4.

Steffe LP, Thompson PW. 2000. Teaching experiment methodology: Underlying principles and essential elements. In *Research design in mathematics and science education*. Hillsdale, NJ: Erlbaum: Lesh & A. E. Kelly, 267–307.

Sung J. 2009. U-Learning Model Design Based on Ubiquitous Environment. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 13:77–88.

Tansey JT, Baird T, Cox M, Fox K, Knight J, Sears D, Bell E. 2013. Foundational concepts and underlying theories for majors in “biochemistry and molecular biology.” *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 41(5): 289–296.

Towns MH , Raker J, Becker N, Harle M, Sutcliffe J. 2012. The biochemistry tetrahedron and the development of the taxonomy of biochemistry external representations (TOBER). *Chemical Education Research Practice*, 13(3):296–306.

White HB. 2013. Commentary: Challenging the central dogma of teaching. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 41(6):443–444.

White HB. 1998. The tertiary and quaternary structure of biochemistry a pedagogical analogy. *Biochemical Education*, 26(1):1.

Yahya AJ. 2010. The definition and characteristics of ubiquitous learning. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology* , 6(1):117–127.

8. ANEXOS

1. Roteiro Glicólise.
2. Roteiro Ciclo de Krebs.
3. Roteiro Hormônios.
4. Autorização da instituição e do coordenador da disciplina.
5. Consentimento Livre e Esclarecido.
6. Tabuleiro do jogo.
7. Cartas Glicólise, Ciclo de Krebs e Hormônios.
8. Material para divulgação do *App*.
9. Marcador VRMET.
10. Artigos publicados.
11. Artigo submetido.
12. Termo de aprovação da pesquisa pela Comissão de Bioética e/ou Biossegurança.
13. Declaração de direitos autorais.

ANEXO 1
Roteiro glicólise



GLICÓLISE ANAERÓBIA

1. Vamos estudar uma via metabólica envolvida no catabolismo, através da montagem de um quebra-cabeça. *O jogo funciona da seguinte maneira:* serão disponibilizadas algumas pistas sobre a via metabólica estudada e também a estrutura química dos compostos que participam da mesma. *A tarefa do grupo é analisar todos os compostos, e montá-los numa sequência lógica.* Esquematize a via na última página de este roteiro, incluindo todos os produtos formados e informações sobre reversibilidade das reações. Para isso use o “Modo Estudo” do aplicativo ARMET vias metabólicas.

2. Após a montagem da via, indique as enzimas envolvidas.

3. Terminada a atribuição das enzimas/reações, responda às questões do aplicativo no “Modo Jogo” e discuta o roteiro de estudo (**Sem auxílio do livro**).

PISTAS:

- ✓ A glicólise anaeróbia é a quebra parcial da molécula de glicose (6 carbonos), com produção líquida de 2 ATPs e 2 moléculas de lactato (3 carbonos) no final do processo.
- ✓ A glicólise anaeróbia envolve o funcionamento de 11 enzimas, das quais somente 3 participam de reações irreversíveis.
- ✓ Mg^{++} é cofator da hexoquinase.
- ✓ Somente 2 enzimas da via requerem a coenzima NAD^+ .
- ✓ As reações de fosforilação da glicose e da frutose-6-fosfato possuem $\Delta G^{\circ} > 0$
- ✓ Durante a glicólise anaeróbia são gastos 2 ATPs e 2 fosfatos inorgânicos (Pi).
- ✓ Durante a glicólise anaeróbia dois compostos ricos em energia são produzidos.
- ✓ Atividade física de alta intensidade requer o fornecimento rápido de ATP para as células musculares envolvidas no movimento.
- ✓ As reações químicas envolvidas com nosso metabolismo obedecem a dois princípios básicos: lógica e economia. Ou seja, o caminho correto é sempre o mais simples e o mais econômico, do ponto de vista energético.
- ✓ A glicólise anaeróbia é responsável por cerca de 80% do ATP produzido em atividades de até 3 minutos de duração.

GLOSSÁRIO

Enzimas Alostéricas: Possuem na sua estrutura química um sítio de ligação para reguladores (efetores), que é diferente do sítio onde se liga o substrato. Essas enzimas podem sofrer regulação por seus efetores alostéricos positivos (se aumentam) ou negativos (se diminuem a velocidade das reações catalisadas por essas enzimas).

Alguns Tipos de Enzimas

QUINASES: São enzimas que catalisam a transferência de um grupo fosfato de alta energia (em geral do ATP ou de um composto rico em energia) para uma molécula receptora.

ISOMERASES: São enzimas que catalisam reações de isomerização (troca de grupos químicos).

MUTASES: São isomerases que catalisam a transferência de grupos fosfato de baixa energia de uma posição para outra, dentro da mesma molécula.

DESIDROGENASES: São enzimas que catalisam reações de óxido-redução, por transferência de hidrogênio do substrato para uma coenzima, geralmente NAD^+ ou FAD. Essas reações, na maioria dos casos são reversíveis.

ALDOLASES: São enzimas que cindem açúcares fosforilados, dando origem a diidroxiacetona-fosfato e a outro açúcar, com três átomos de carbono a menos que o substrato original.

FOSFATASES: São enzimas que catalisam reações de hidrólise de ésteres de fosfato.

Enzimas Reguladoras da Via Glicolítica

ENZIMA	EFETUADOR ALOSTÉRICO	
	Positivo	Negativo
Hexoquinase	-	glicose 6-fosfato
Fosfofrutoquinase I	AMP, ADP e frutose 2,6 bisfosfato	ATP e citrato
Piruvato quinase	frutose 1,6-bisfosfato	alanina (somente no fígado)

- Após a montagem da via, leia com atenção o glossário e atribua, em cada um dos 11 passos da glicólise anaeróbia, a enzima (tipo de) envolvida.
- Identifique cada uma das enzimas, com base no nome de seu substrato/produto.

QUESTÕES

1. Baseado no mapa da glicólise anaeróbia, responda as seguintes questões:
 - a) Qual a finalidade biológica dos processos descritos no mapa?
 - b) Qual o destino dos elementos químicos (carbono, oxigênio e hidrogênio) da molécula de glicose?
 - c) Quais o(s) composto(s) que aceitam os átomos de hidrogênio?
2. Indicar, no mapa, os compostos ricos em energia formados.
3. Qual a localização celular da via glicolítica?
4. Vamos imaginar que vocês receberam um tubo de ensaio contendo as 10 primeiras enzimas da via glicolítica anaeróbia. Citar os compostos que devem ser fornecidos a via glicolítica para:
 - a) Iniciá-la.
 - b) Mantê-la em funcionamento.
5. Discutir porque o produto final da glicólise anaeróbia é o lactato.
6. A glicólise anaeróbia predominaria em células musculares de contração rápida ou lenta?

Obs. Quando há suficiente suprimento de O_2 na célula o piruvato, em lugar de se transformar em lactato, segue outras vias metabólicas, sendo totalmente oxidado a CO_2 e H_2O .

7. O que acontece com a via glicolítica quando excesso de frutose-1,6-bisfosfato é formado?
8. Como a quantidade de NAD^+ oxidado afeta a glicólise anaeróbia?
9. Como a quantidade de NAD^+ oxidado afeta a glicólise aeróbia?
10. O que acontece com a via glicolítica quando a razão ATP/ADP está baixa na célula?

CURIOSIDADES: VOCÊ SABIA QUE...

- Fermentação é o nome dado ao consumo de glicose em meio anaeróbio. Muitas bactérias, fungos e leveduras podem fazer além da fermentação láctica, a fermentação alcoólica, propiônica, fórmica, butírica, mista, etc. As fermentações são a base da produção de queijos e iogurtes (fermentação láctica), cerveja, vinho e pão levedado (fermentação alcoólica).
- Todas as fermentações têm em comum a **regeneração de NAD⁺** para a via glicolítica e a excreção dos produtos finais como o lactato, etanol, formiato, butirato, propionato,...
- Os tecidos que só utilizam glicose como fonte de energia são: cérebro (120g/dia) e eritrócitos (36g/dia). Nos eritrócitos a glicólise é anaeróbia, enquanto no cérebro ela é aeróbia.
- A forma de reserva de glicose em nosso organismo é o GLICOGÊNIO, presente em quantidades significativas nos músculos e hepatócitos.

MAPA METABÓLICO (MONTE AQUI A SUA VIA)

ANEXO 2
Roteiro Ciclo de Krebs

DESTINOS METABÓLICOS DO PIRUVATO E CICLO DE KREBS

1. Vamos estudar uma via metabólica envolvida no catabolismo, através da montagem de um quebra-cabeça. *O jogo funciona da seguinte maneira:* serão disponibilizadas algumas pistas sobre a via metabólica estudada e também a estrutura química dos compostos que participam da mesma. *A tarefa do grupo é analisar todos os compostos, e montá-los numa sequência lógica.* Esquematize a via montada no mapa metabólico, incluindo todos os produtos formados e informações sobre reversibilidade das reações. Para isso use o “Modo Estudo” do aplicativo ARMET vias metabólicas.
2. Após a montagem da via, indique as enzimas envolvidas.
3. Terminada a atribuição das enzimas/reações, responda às questões do aplicativo no “Modo Jogo” e discuta o roteiro de estudo (com auxílio do livro).

Pistas:

- * O Ciclo de Krebs se inicia com a hidrólise da coenzima A da molécula de acetil-CoA e posterior condensação da porção Acetil com o Oxaloacetato (OAA).
- * Oito enzimas participam das reações do ciclo de Krebs, sendo que quatro delas têm atividades de desidrogenases.
- * Todas as enzimas com ações desidrogenases necessitam de uma coenzima para seu funcionamento (NAD ou FAD).
- * Somente uma das enzimas do ciclo de Krebs utiliza FAD (Flavina Adenina Dinucleotídeo).
- * Ao final das reações, o OAA é sempre regenerado, sendo produzido duas moléculas de CO₂.
- * Durante as reações do ciclo de Krebs é formado um composto rico em energia (Succinil-CoA).
- * A produção de citrato, α ceto-glutarato, e succinil CoA envolvem reações irreversíveis.
- * A descarboxilação do α ceto-glutarato é catalizada por um complexo enzimático, semelhante ao complexo enzimático da piruvato desidrogenase, envolvendo três enzimas e cinco coenzimas.
- * As enzimas do ciclo de Krebs são encontradas somente na matriz mitocondrial.
- * Os produtos finais do ciclo de Krebs são: CO₂, NADH, FADH₂, GTP e H-SCoA.

Alguns Tipos de Enzimas

Isomerases: São enzimas que catalisam reações de isomerização (troca de grupos químicos).
Ex. Aconitase.

Desidrogenases: São enzimas que catalisam reações de transferência de hidrogênio, ou seja: reações de oxidação-redução geralmente NAD ou FAD. Essas reações, na maioria dos casos são reversíveis.

Sintetases: Catalisam reações de formação de novas moléculas a partir da ligação entre duas já existentes, sempre às custas de energia.

Fumarase: Enzima que adiciona uma molécula de água.

* O nome de cada enzima está relacionada a reação específica que a mesma cataliza muitas vezes é o nome do substrato ou o nome do produto da reação.

**QUESTÕES**

1. No metabolismo celular, quando existe um fornecimento suficiente de oxigênio, o piruvato proveniente da quebra da glicose não se reduz em lactato. Neste caso, o piruvato pode originar Acetil-CoA ou Oxaloacetato. Em outras palavras, a presença de oxigênio inibe a formação de lactato, porém não impede a síntese de ATP pela quebra da glicose. Por quê?
2. Quais os destinos possíveis do piruvato, quando em anaerobiose? Eles estão presentes nos mamíferos?
3. Escrever a reação de formação de Acetil-CoA a partir de piruvato e indicar:
 - a. sua localização celular
 - b. as 5 coenzimas e as vitaminas envolvidas nesta reação
4. Citar os inibidores da enzima piruvato desidrogenase.
5. Escrever a reação de formação de oxaloacetato a partir de piruvato e indicar:
 - a. a enzima que catalisa esta reação;
 - b. a vitamina envolvida;
 - c. sua localização celular;
6. Qual o papel da Acetil-CoA na regulação da atividade das enzimas piruvato desidrogenase e piruvato carboxilase? Explicar o significado fisiológico desta regulação.
7. Analisar a estrutura da Coenzima A e indicar a porção da molécula que se liga ao acetato ou aos ácidos graxos.
8. Compare o papel da CoA com o de outras coenzimas.
9. Na oxidação de uma molécula de Acetil-CoA no ciclo de Krebs, escrever o nome dos compostos envolvidos e indicar a enzima que catalisa aquela(s) reação(ões) onde há produção ou consumo de:
 - a) CO_2
 - b) GTP
 - c) $\text{NADH} + \text{H}^+$
 - d) FADH_2
 - e) H_2O
10. Definir fosforilação no nível de substrato e citar as reações no ciclo de Krebs onde ocorre essa fosforilação.
11. Quais são os passos irreversíveis e os principais pontos de regulação do ciclo de Krebs?
12. Descrever o papel da enzima piruvato carboxilase na manutenção dos níveis de intermediários do ciclo de Krebs.
13. Qual a importância das reações anapleróticas?
14. Citar os compostos que devem ser fornecidos ao ciclo de Krebs para:
 - a) iniciá-lo (completar 1 volta).
 - b) mantê-lo em funcionamento.
15. Citar as vitaminas que fazem parte do ciclo de Krebs.
16. Qual a localização celular do ciclo de Krebs?
17. Citar as funções do Ciclo de Krebs.



ARMET

Augmented Reality Metabolic Pathways
Realidade Aumentada Vias Metabólicas
Realidad Aumentada Vías Metabólicas

MAPA METABÓLICO (MONTE AQUI A SUA VIA)

ANEXO 3
Roteiro hormônios

ESTEROIDOGÊNESE

1. Vamos estudar as vias metabólicas dos hormônios esteroides, através da montagem de um quebra-cabeça. *O jogo funciona da seguinte maneira:* serão disponibilizadas algumas dicas sobre as vias metabólicas estudadas e também a estrutura química dos compostos que participam das mesmas. *A tarefa do grupo é analisar todos os compostos, e montá-los numa sequência lógica.* Esquematize a via montada no mapa metabólico, incluindo todos os produtos formados. Para isso use o “Modo Estudo” do aplicativo ARMET vias metabólicas.
2. Após a montagem das vias, indique as enzimas envolvidas.
3. Terminada a atribuição das enzimas/reações, responda às questões do aplicativo no “Modo Jogo” e discuta o roteiro de estudo (com auxílio do livro).

Dicas:

- ✓ A biossíntese dos hormônios esteroides é necessária para manter a função reprodutiva e a homeostase em geral. Este processo é realizado em os tecidos esteroideogênicos (glândulas suprarrenais, gônadas e placenta).
- ✓ Os hormônios esteroides são classificados como esteroides sexuais (andrógenos, estrógenos e progesterona), glicocorticoides (cortisol) e mineralocorticoides (aldosterona).
- ✓ O colesterol é derivado do Acetil-CoA.
- ✓ O precursor de todos os hormônios esteroides é o colesterol, o qual é formado intracelularmente ou é absorvido pelas células e é usado nas mitocôndrias.
- ✓ Citocromo P450 são um conjunto de enzimas que catalisam muitas reações envolvidas no metabolismo de drogas e síntese de colesterol, os esteroides, e outros lipídios.
- ✓ A síntese dos hormônios esteroides é realizada por enzimas diferentes entre os quais estão os diferentes tipos de citocromo P450, desidrogenases esteroides e redutases.
- ✓ A síntese dos hormônios esteroides começa com a conversão do colesterol em pregnenolona por a citocromo P450_{sc}/CYP11A1 localizada na membrana mitocondrial interna.

Alguns Tipos de Enzimas

Isomerasas: São enzimas que catalisam reações de isomerização (troca de grupos químicos).

Desidrogenases: São enzimas que catalisam reações de transferência de hidrogênio, ou seja: reações de oxi-redução.

Hidroxilases: Introduz um grupo hidroxila (-OH) em um composto orgânico.

Desmolases: Enzimas que quebram ou formam ligações carbono-carbono em uma molécula.

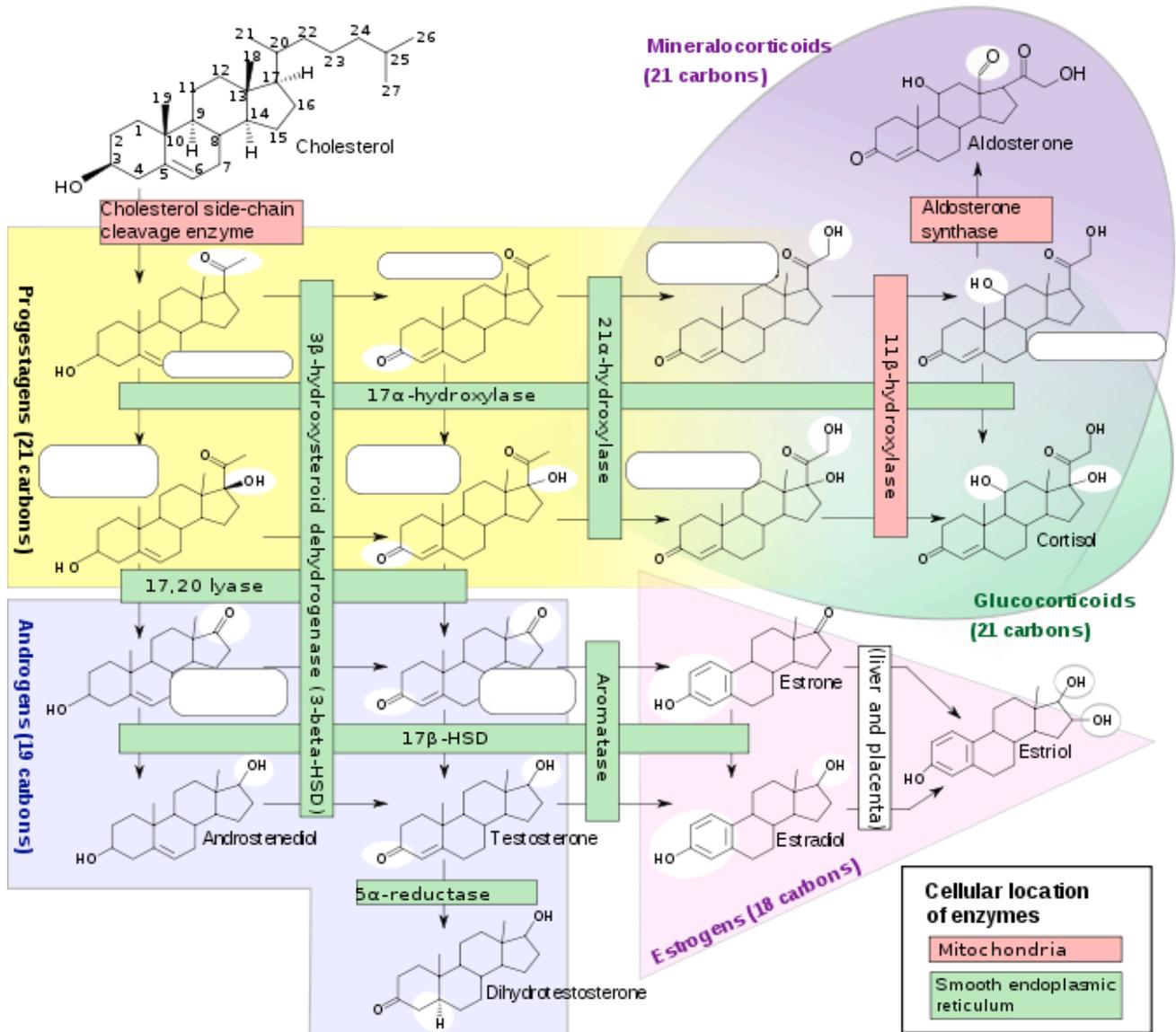
Aromatase: Uma enzima que catalisa a conversão da testosterona (um androgênio) para o estradiol (um estrogênio).

* O nome de cada enzima está relacionada a reação específica que a mesma cataliza muitas vezes é o nome do substrato ou o nome do produto da reação.

QUESTÕES

1. Qual é o principal mineralocorticoide, onde é produzidos (órgãos e células) e qual a sua função?
2. Qual é o principal glicocorticoide, onde é produzido (órgãos e células) e qual a sua função?
3. Qual é o principal andrógeno, onde é produzido (órgãos e células) e qual a sua função?
4. Qual é o principal estrógeno, onde é produzido (órgãos e células) e qual a sua função?
5. Que é a progesterona, onde é produzida (órgãos e células) e qual a sua função?
6. Porque é tão importante o estudo da aromatase?
7. Que é uma isoenzima e qual é sua importância na esteroidogênese?
8. Na esteroidogênese que são as vias delta 4 e 5, qual é a sua importância?

MAPA METABÓLICO (MONTE AQUI A SUA VIA)



«Steroidogenesis» de David Richfield (User:Slashme) and Mikael Häggström. Derived from previous version by Hoffmeier and Setters. In external use, this diagram may be cited as: Häggström M, Richfield D (2014). "Diagram of the pathways of human steroidogenesis". Wikiversity Journal of Medicine 1 (1). DOI:10.15347/wjm/2014.005. ISSN 20018762. - Self-made using bkchem and inkscape. Disponible bajo la licencia CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons - <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steroidogenesis.svg#mediaviewer/File:Steroidogenesis.svg>

ANEXO 4
Autorização da instituição e do coordenador da disciplina



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE BIOLOGIA
Departamento de Bioquímica e Biologia Tecidual
Laboratório de Tecnologia Educacional - LTE



Campinas, 13 de maio de 2015

Ao CEP FCM/UNICAMP

Ref. Concordância para desenvolvimento de projeto de pesquisa junto à disciplina BB381

Prezado(a) senhor(a),

Venho por meio desta manifestar minha concordância no desenvolvimento do projeto de pesquisa "Design e avaliação de um aplicativo de realidade aumentada (RA) para ensino e aprendizagem do metabolismo" junto à disciplina BB381 – Metabolismo. Esta pesquisa visa avaliar o uso de um aplicativo que já é usado desde 2014 nesta disciplina, visando melhorar a qualidade do ensino de vias metabólicas. O projeto é desenvolvido pelo aluno de doutorado Juan Carlos Vega Garzon, orientado pelo professor Eduardo Galembeck que atua regularmente como docente desta disciplina.

Atenciosamente,

Prof. Dr Cláudio Werneck
Responsável pela Disciplina BB381 - Metabolismo

De acordo,

Prof. Dr Fábio Papas
Coordenador Associado dos Cursos de Ciências Biológicas – IB - UNICAMP

ANEXO 5
Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
Design e avaliação de um aplicativo de realidade aumentada (RA) para ensino e
aprendizagem do metabolismo

Responsáveis: Juan Carlos Vega Garzón e Eduardo Galembeck

Número do CAAE: 42439814.0.0000.5404

Você está sendo convidado a participar como voluntário de um estudo. Este documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, visa assegurar seus direitos como participante e é elaborado em duas vias, uma que deverá ficar com você e outra com o pesquisador.

Por favor, leia com atenção e calma, aproveitando para esclarecer suas dúvidas. Se houver perguntas antes ou mesmo depois de assiná-lo, você poderá esclarecê-las com o pesquisador. Se preferir, pode levar para casa e consultar seus familiares ou outras pessoas antes de decidir participar. Se você não quiser participar ou retirar sua autorização, a qualquer momento, não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo.

Justificativa e objetivos:

O ensino e a aprendizagem de Bioquímica são instigantes e desafiadores, pela própria natureza desse conhecimento: por exemplo, a Bioquímica possui uma terminologia ampla e específica (nomes, fórmulas e estruturas químicas), exige um alto grau de abstração e um conhecimento básico de Química, uma área complexa da qual os alunos trazem, em geral, uma série de conceitos incompletos ou equivocados. A fim de resolver estes problemas, melhorar a motivação, promover a aprendizagem colaborativa e a interatividade dos alunos para aprender as vias metabólicas e desenvolver habilidades necessárias para uma verdadeira compreensão dos princípios básicos e dos conceitos fundamentais da bioquímica, nós propomos o design de um aplicativo que agrega duas tecnologias promissoras a realidade aumentada e analíticas de aprendizagem.

Procedimentos:

Participando do estudo você está sendo convidado a permitir que as informações do manuseio do aplicativo ARMET (Augmented Reality METabolic pathways) sejam utilizadas na pesquisa. Isso acontecerá da seguinte forma: ao utilizar o aplicativo, as informações do manuseio serão enviadas para um banco de dados MySQL, que irá memorizar as respostas dos modos estudo e jogo realizadas por você dentro do aplicativo. Serão coletadas informações como: pontos obtidos, tempo utilizado e número de erros. Além disso, questionários posteriores serão enviados via e-mail para voluntários que optarem por respondê-los clicando em "Aceito" no final deste documento. Neles os usuários poderão expressar sua opinião em relação ao aplicativo e sua interatividade.

Desconfortos e riscos:

Não há riscos previsíveis nem mesmo desconfortos na utilização do aplicativo ARMET (Augmented Reality METabolic pathways) nem mesmo interferências negativas no cronograma da disciplina na qual serão aplicados.

Benefícios:

Não há benefícios diretos aos sujeitos de pesquisa nem haverá algum tipo de ressarcimento de despesas. No entanto, os dados estatísticos dessa avaliação serão utilizados para indicar a eficiência dessa nova metodologia de ensino, dados que também serão utilizados em publicações científicas. Este estudo possibilitará a avaliação e a implementação de novas abordagens de ensino, contribuindo para que os alunos desenvolvam habilidades necessárias para uma verdadeira compreensão dos princípios básicos e dos conceitos fundamentais da bioquímica.

Acompanhamento e assistência:

Este trabalho será acompanhado pela pesquisador responsável Juan Carlos Vega Garzón, a qual prestará assistência e acompanhamento técnico online ou presencial, de acordo com a necessidade e solicitação dos usuários do aplicativo. Este acompanhamento ocorrerá durante a utilização do aplicativo ARMET (Augmented Reality METabolic pathways), bem como no período de resposta dos questionários.

Sigilo e privacidade:

Você tem a garantia de que sua identidade será mantida em sigilo e nenhuma informação será dada a outras pessoas que não façam parte da equipe de pesquisadores. Na divulgação dos resultados desse estudo, seu nome não será citado.

Contato:

Em caso de dúvidas sobre o estudo, você poderá entrar em contato com o pesquisadores Juan Carlos Vega Garzón (e-mail: j151757@dac.unicamp.br) e seu orientador: Dr. Eduardo Galembeck (e-mail: eg@unicamp.br) pelos e-mails acima ou no endereço: Rua Carl Von Linaeus s/n, Laboratório de Genômica e Poteômica, Departamento de Bioquímica, Instituto de Biologia.

Em caso de denúncias ou reclamações sobre sua participação e sobre questões éticas do estudo, você pode entrar em contato com a secretaria do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UNICAMP: Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126; CEP 13083-887 Campinas – SP; telefone (19) 3521-8936; fax (19) 3521-7187; e-mail: cep@fcm.unicamp.br

Consentimento livre e esclarecido:

Após ter sido esclarecido sobre a natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos, benefícios previstos, potenciais riscos e o incômodo que esta possa acarretar, você aceita participar da pesquisa? Clique em uma das alternativas abaixo.

Aceito

Não aceito(use o aplicativo apenas no modo anônimo).

Você aceita receber em seu e-mail um questionário, no qual poderá expressar sua opinião em relação ao aplicativo e sua interatividade? Clique em uma das alternativas abaixo.

Aceito

Não aceito.

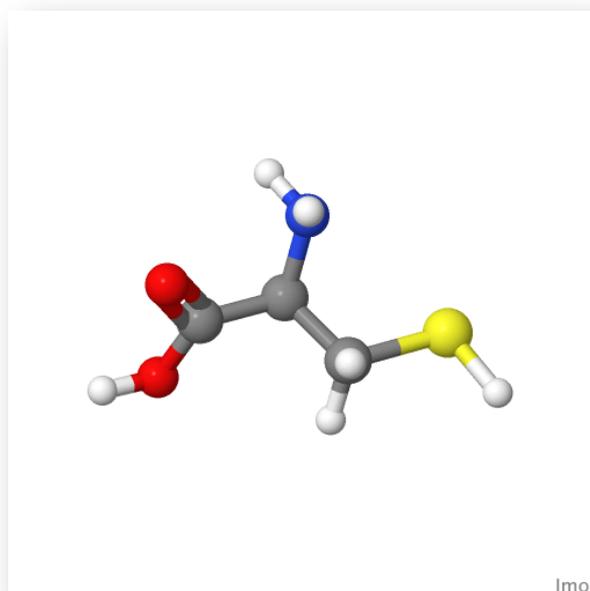
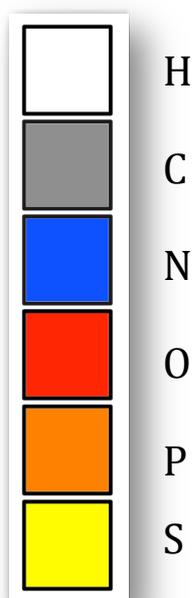
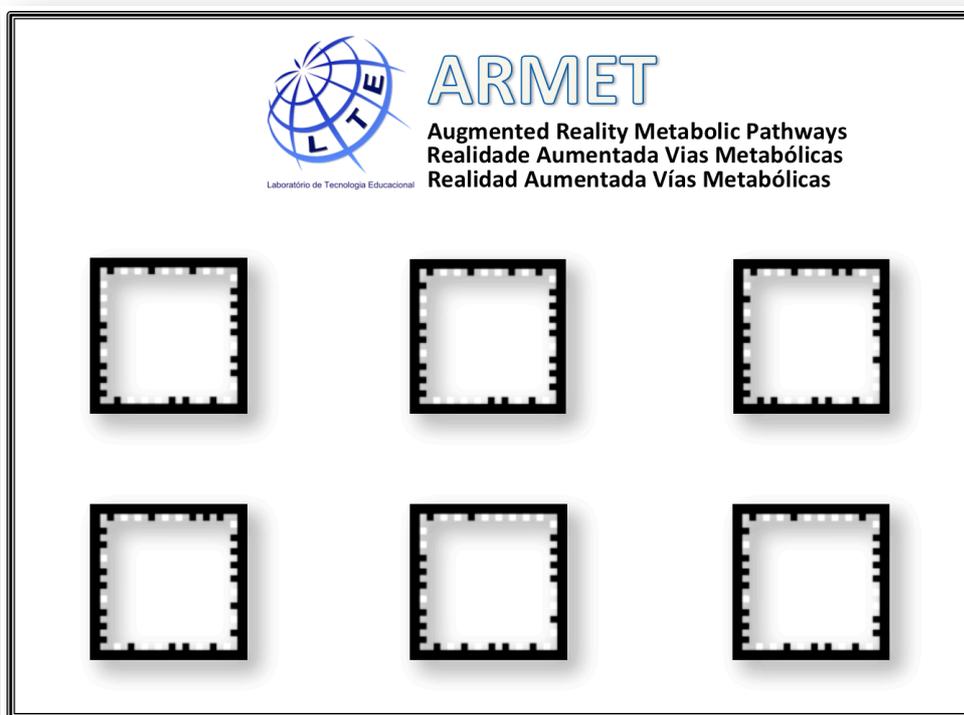
Responsabilidade do Pesquisador:

Asseguro ter cumprido as exigências da resolução 466/2012 CNS/MS e complementares na elaboração do protocolo e na obtenção deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Asseguro, também, ter explicado e fornecido uma cópia deste documento ao participante. Informo que o estudo foi aprovado pelo CEP perante o qual o projeto foi apresentado. Comprometo-me a utilizar o material e os dados obtidos nesta pesquisa exclusivamente para as finalidades previstas neste documento ou conforme o consentimento dado pelo participante.

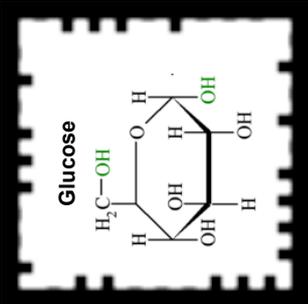
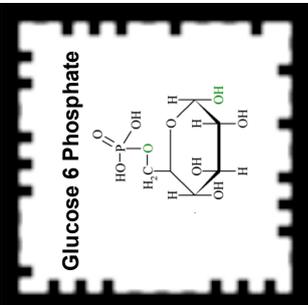
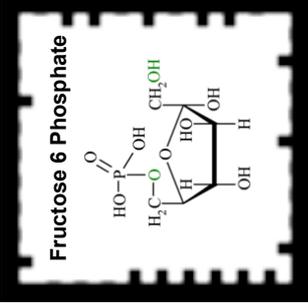
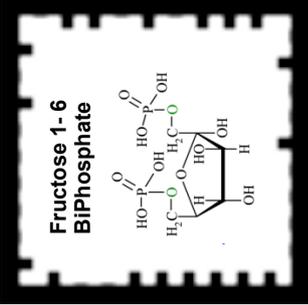
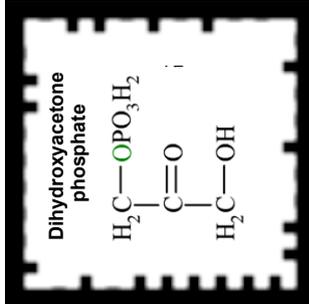
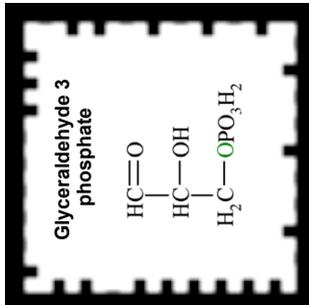
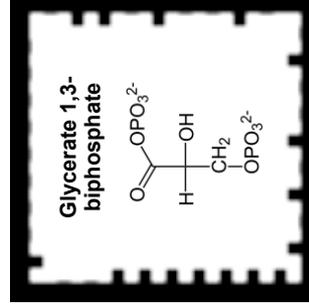
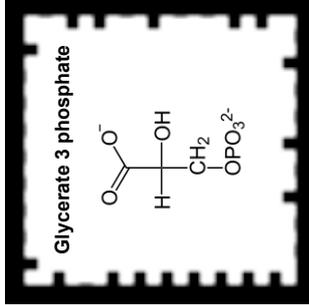
_____ Data: ____/____/____.

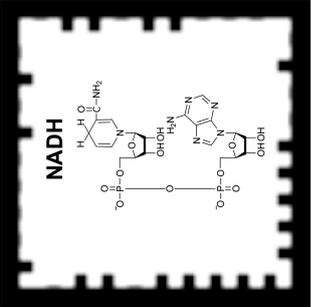
(Assinatura do pesquisador)

ANEXO 6
Tabuleiro do jogo

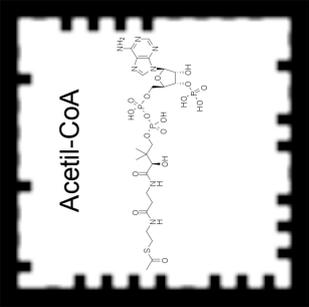
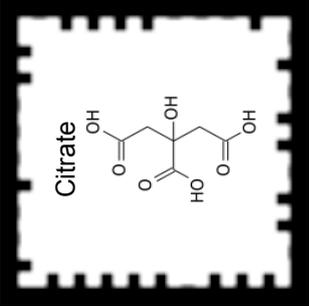
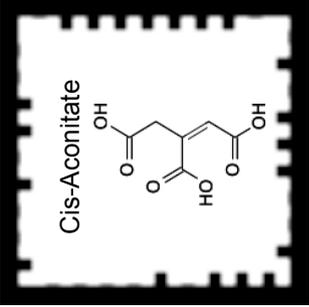
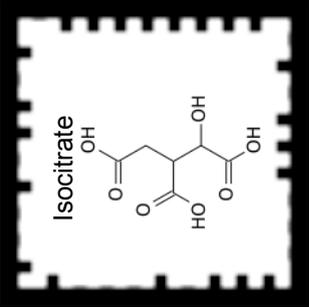
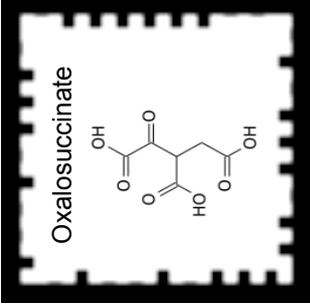
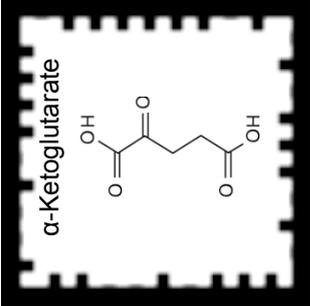
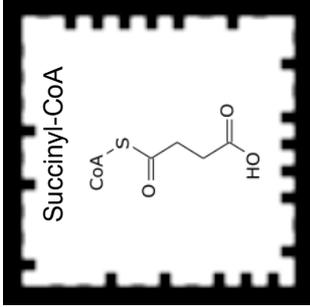
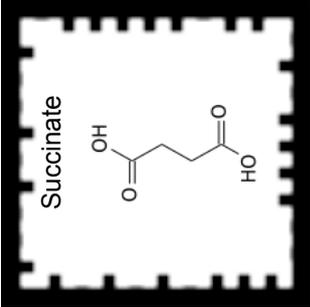


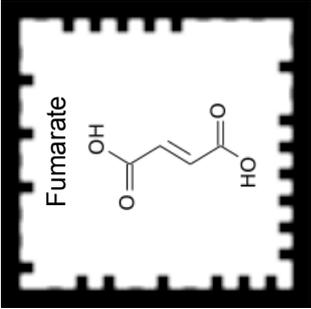
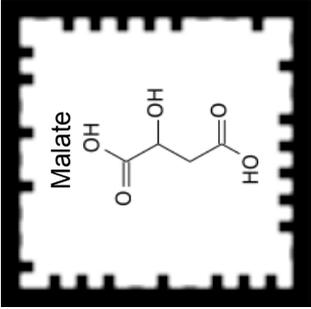
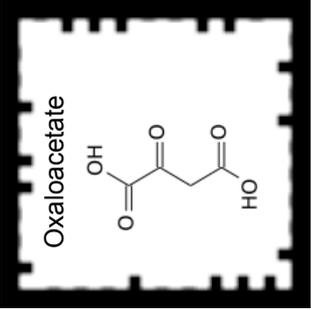
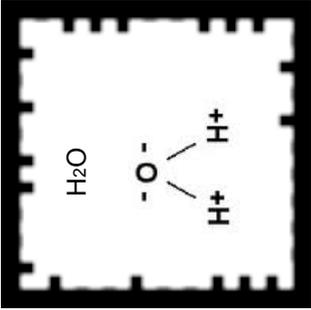
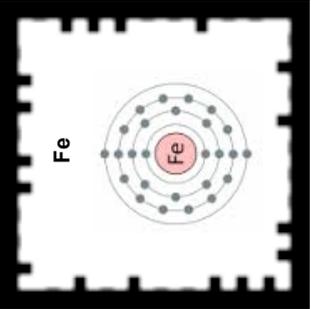
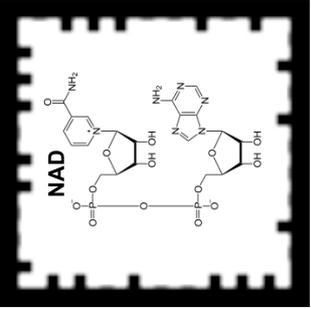
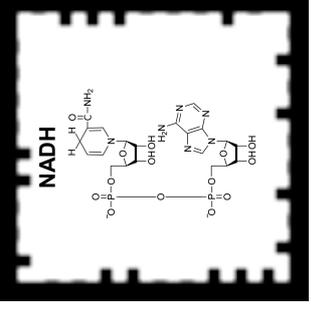
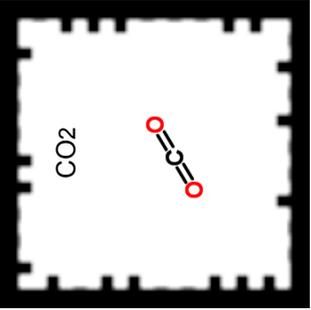
ANEXO 7
Cartas glicólise, ciclo de Krebs e hormônios

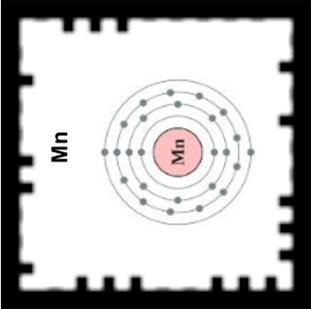
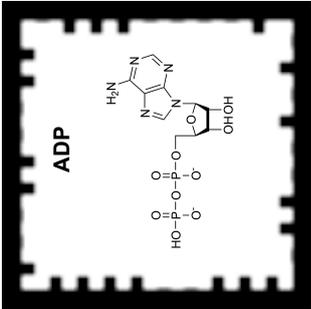
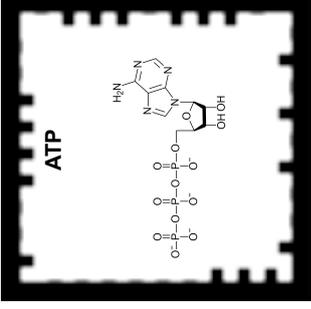
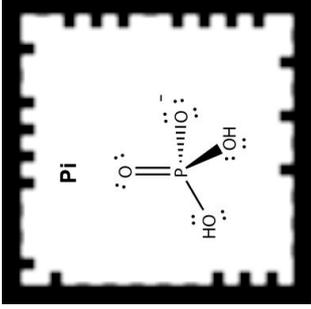
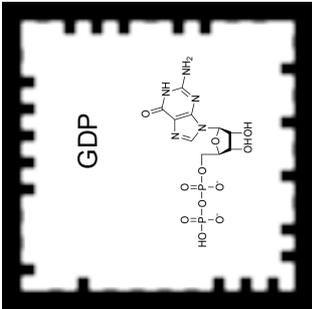
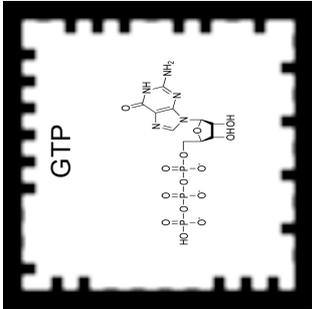
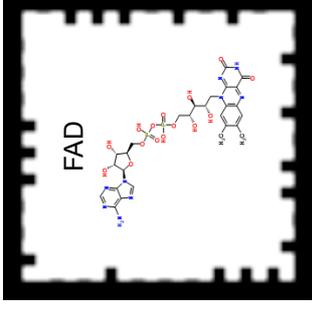
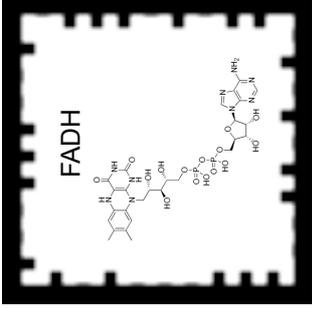
<p>Glycolysis</p> <p>Glucose</p>  <p><chem>C1=CC(=O)O[C@@H](O)[C@H](O)[C@@H]1O</chem></p> <p>ARMET</p>	<p>Glycolysis</p> <p>Glucose 6 Phosphate</p>  <p><chem>C1=CC(=O)O[C@@H](O)[C@H](O)[C@@H]1OP(=O)(O)O</chem></p> <p>ARMET</p>	<p>Glycolysis</p> <p>Fructose 6 Phosphate</p>  <p><chem>C1=CC(=O)O[C@@H](OP(=O)(O)O)[C@H](O)[C@@H]1O</chem></p> <p>ARMET</p>	<p>Glycolysis</p> <p>Fructose 1-6 BiPhosphate</p>  <p><chem>C1=CC(=O)O[C@@H](OP(=O)(O)O)[C@H](O)[C@@H]1OP(=O)(O)O</chem></p> <p>ARMET</p>
<p>Glycolysis</p> <p>Dihydroxyacetone phosphate</p>  <p><chem>C(C(=O)O)OP(=O)(O)O</chem></p> <p>ARMET</p>	<p>Glycolysis</p> <p>Glyceraldehyde 3 phosphate</p>  <p><chem>C(C(O)O)COP(=O)(O)O</chem></p> <p>ARMET</p>	<p>Glycolysis</p> <p>Glycerate 1,3-biphosphate</p>  <p><chem>C(COP(=O)(O)O)C(=O)OP(=O)(O)O</chem></p> <p>ARMET</p>	<p>Glycolysis</p> <p>Glycerate 3 phosphate</p>  <p><chem>C(C(O)COP(=O)(O)O)C(=O)O</chem></p> <p>ARMET</p>

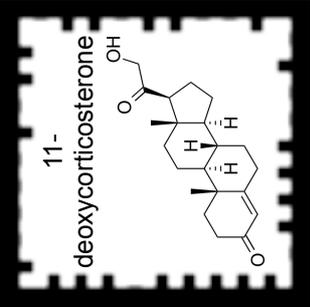
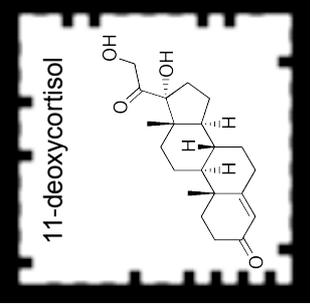
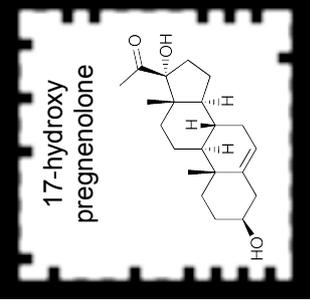
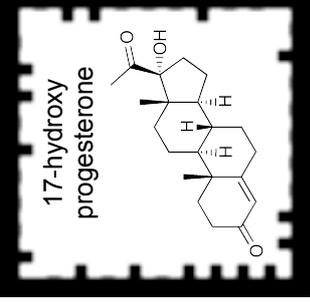
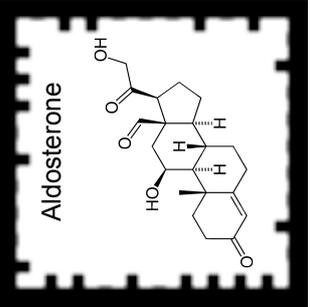
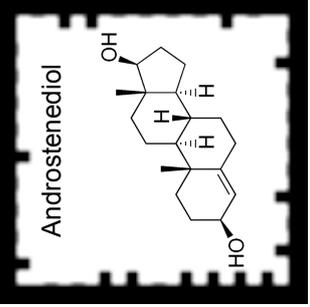
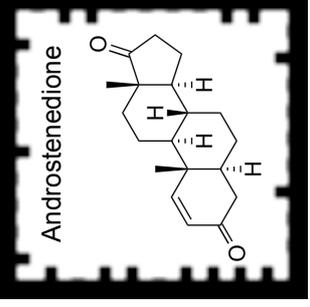
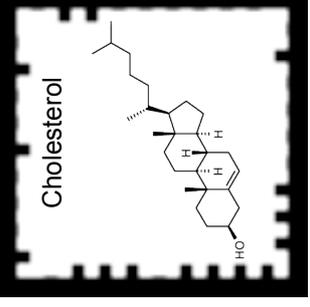
<p>Glycolysis</p>  <p>The image shows the chemical structure of NADH (Nicotinamide Adenine Dinucleotide) in its reduced form. It consists of a nicotinamide ring (left) and an adenosine ring (right) connected by a pyrophosphate bridge. The nicotinamide ring has a reduced nitrogen atom (N-H) and a carbonyl group (C=O). The adenosine ring has a hydroxyl group (OH) at the 3' position. The pyrophosphate bridge is shown as two phosphate groups linked together, with oxygen atoms connecting them to the ribose rings.</p>	

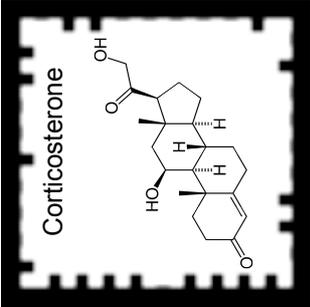
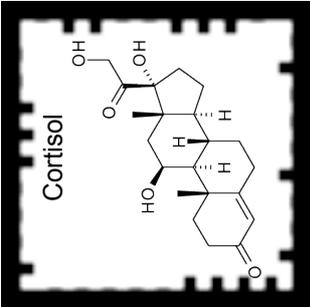
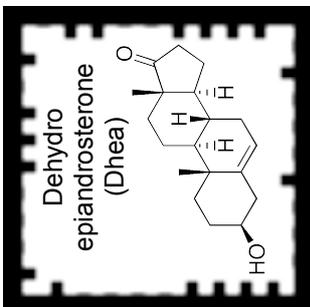
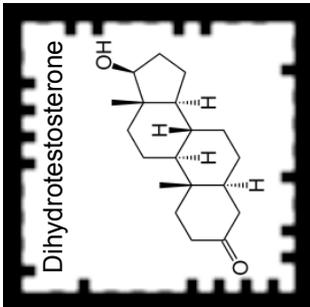
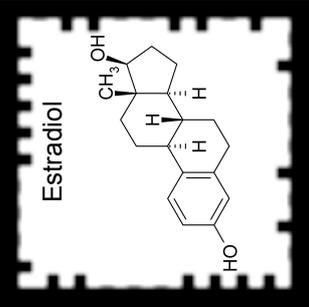
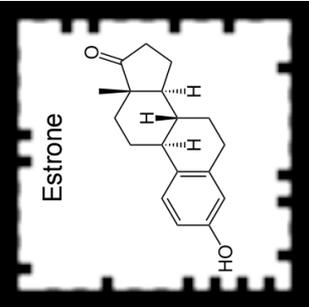
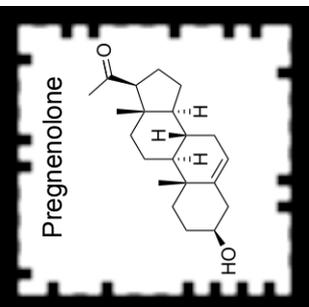
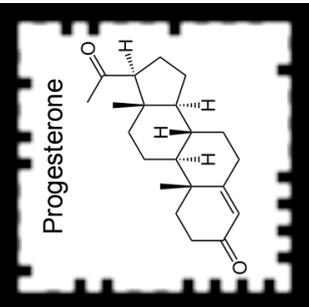


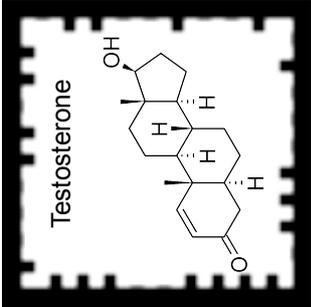
<p>Krebs Cycle</p> <p>Acetyl-CoA</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>Citrate</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>Cis-Aconitate</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>Isocitrate</p>  <p>ARMET</p>
<p>Krebs Cycle</p> <p>Oxalosuccinate</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>α-Ketoglutarate</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>Succinyl-CoA</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>Succinate</p>  <p>ARMET</p>

<p>Krebs Cycle</p> <p>Fumarate</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>Malate</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>Oxaloacetate</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>H₂O</p>  <p>ARMET</p>
<p>Krebs Cycle</p> <p>Fe</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>NAD</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>NADH</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>CO₂</p>  <p>ARMET</p>

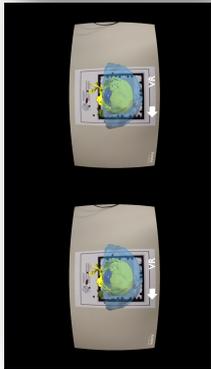
<p>Krebs Cycle</p> <p>Mn</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>ADP</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>ATP</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>Pi</p>  <p>ARMET</p>
<p>Krebs Cycle</p> <p>GDP</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>GTP</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>FAD</p>  <p>ARMET</p>	<p>Krebs Cycle</p> <p>FADH</p>  <p>ARMET</p>

<p>Hormones Pathway</p> <p>11-deoxycorticosterone</p> <chem>CC12CCC3=C1CC(=O)CC(O)C3=CC=C2</chem>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>11-deoxycortisol</p> <chem>CC12CCC3=C1CC(=O)CC(O)C3=CC=C2</chem>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>17-hydroxy pregnenolone</p> <chem>CC12CCC3=C1CC(O)CC3=CC=C2</chem>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>17-hydroxy progesterone</p> <chem>CC12CCC3=C1CC(O)CC3=CC=C2</chem>  <p>ARMET</p>
<p>Hormones Pathway</p> <p>Aldosterone</p> <chem>CC12CCC3=C1CC(=O)CC(O)C3=CC=C2</chem>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>Androstenediol</p> <chem>CC12CCC3=C1CC(O)CC3=CC=C2</chem>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>Androstenedione</p> <chem>CC12CCC3=C1CC(=O)CC3=CC=C2</chem>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>Cholesterol</p> <chem>CC(C)CCCC1=C[C@H]2CC[C@@H]3[C@@H]2CC=C4[C@@]1(CC[C@H]3[C@H]2CC=C4)O</chem>  <p>ARMET</p>

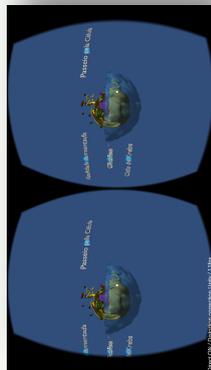
<p>Hormones Pathway</p> <p>Corticosterone</p>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>Cortisol</p>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>Dehydro epiandrosterone (Dhea)</p>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>Dihydrotestosterone</p>  <p>ARMET</p>
<p>Hormones Pathway</p> <p>Estradiol</p>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>Estrone</p>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>Pregnenolone</p>  <p>ARMET</p>	<p>Hormones Pathway</p> <p>Progesterone</p>  <p>ARMET</p>

<p>Hormones Pathway</p> <p>Testosterone</p>  <p>ARMET</p>	

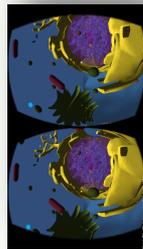
ANEXO 8
Material para divulgação do App



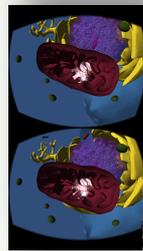
Cena de Realidade Aumentada (RA)



Cena de Realidade Virtual (RV)



Passeio pela célula



Ciclo de Krebs

FREE E o melhor, tudo isso é de **GRAÇA!!**

Como baixar os aplicativos? Utilize o leitor de QRCode de seu smartphone ou tablet e aponte a câmera para as imagens abaixo.



Google Play
Android



Apple Store
iPhone

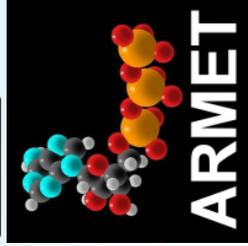


COLCIENCIAS
Ciência, Tecnologia e Inovação

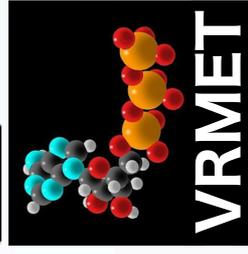
Programa de Pós Graduação em Biologia Funcional e molecular
Doutorando: Juan Carlos Vega Garzón
Orientador: Dr. Eduardo Galembeck

DISPONÍVEL NO
Google play

Disponível na
App Store

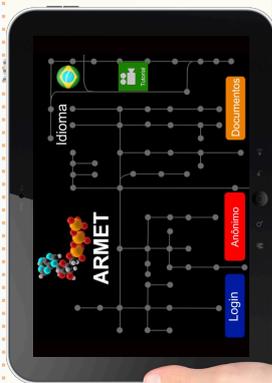


DISPONÍVEL NO
Google play



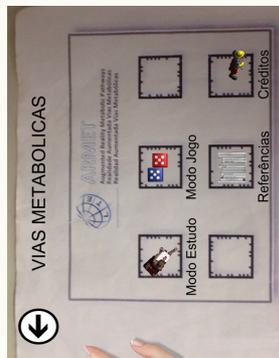
• **ARMET/VRMET** •

Augmented and Virtual Reality
Metabolic Pathways



ARMET

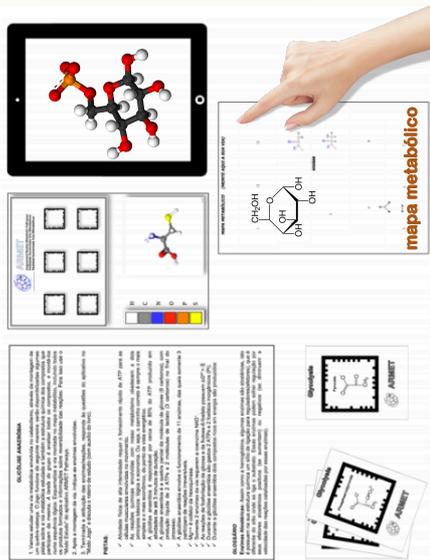
... é um aplicativo de realidade aumentada para o ensino e a aprendizagem do metabolismo



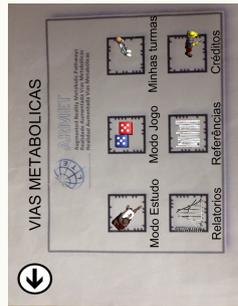
Cada modo possui

- 1 Tabuleiro de jogo.
- 3 sets de cartas (1 para cada via metabólica: Glicólise, Ciclo de Krebs e Hormônios esteroides).
- 3 roteiros (1 para cada via metabólica: Glicólise, Ciclo de Krebs e Hormônios esteroides).
- 3 mapas metabólicos (1 para cada via metabólica: Glicólise, Ciclo de Krebs e Hormônios esteroides).

Elementos que cada grupo recebe para realizar a atividade.



Se você é professor, ARMET oferece um sistema privado para criar turmas e seguir o desempenho dos seus alunos!



Por meio desse sistema é possível visualizar dentre outras informações

- Qual a média de pontos em cada via,
 - Qual a média de erros em cada via,
 - Quanto tempo passaram respondendo cada via,
- Além de permitir comparar o rendimento de duas turmas.



VRMET

... é um aplicativo de realidade virtual para o ensino e a aprendizagem do metabolismo



Elementos que cada grupo recebe para realizar a atividade.



VRMET possui 2 cenas

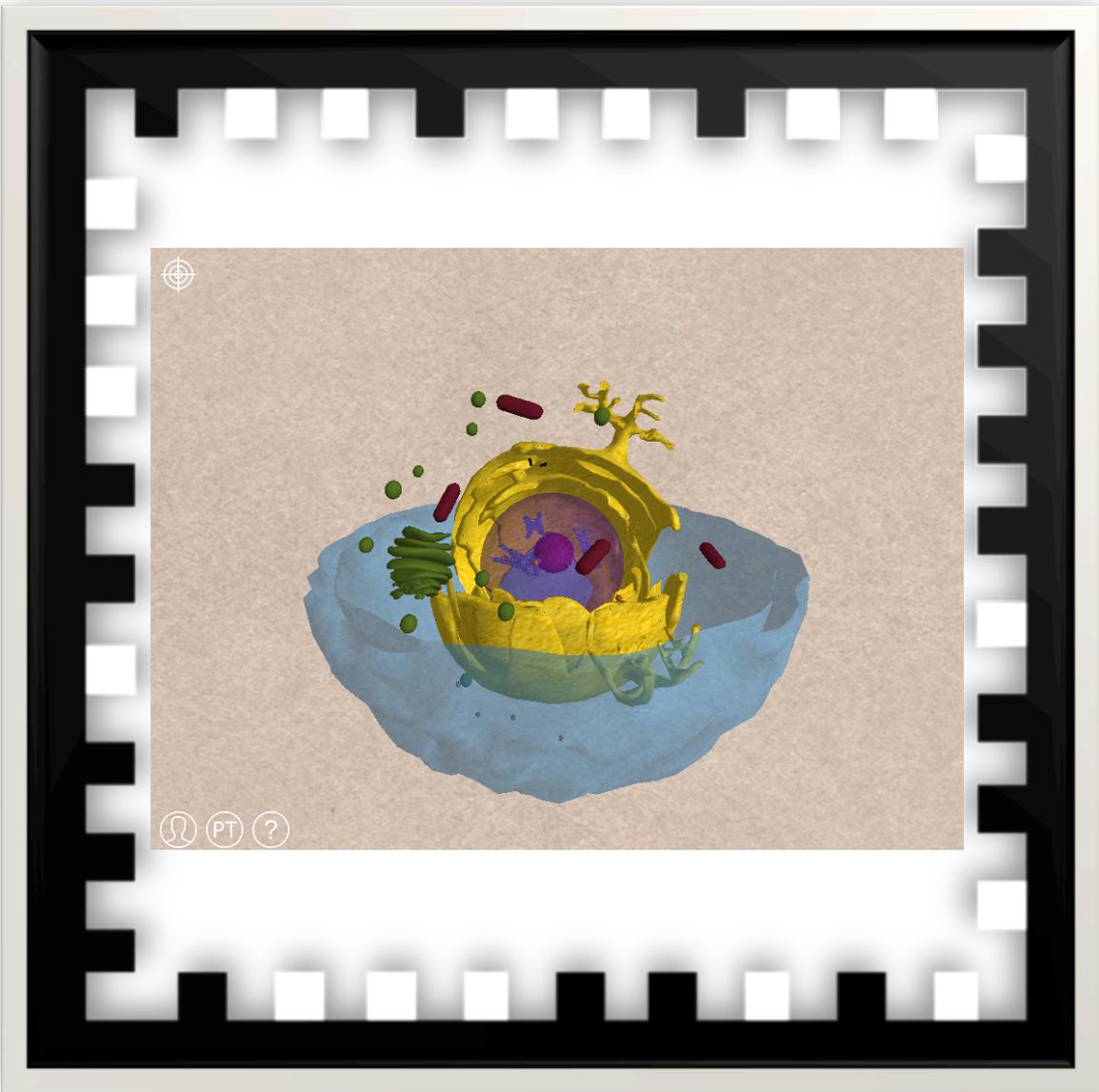
- 1 Cena de Realidade Aumentada (RA).
 - 1 Cena de Realidade Virtual (RV).
- A cena de RV Esta dividida em:
- Passeio pela célula.
 - Glicólise.
 - Ciclo de Krebs.

ANEXO 9
Marcador VRMET



VRMET

Virtual Reality Metabolic Pathways
Realidade Virtual Vias Metabólicas
Realidad Virtual Vías Metabólicas



ANEXO 10
Artigos publicados

Juan Carlos Vega Garzón, Márcio Luiz Magrini, Caetano da Costa, Eduardo Galembeck. 2014. Realidade aumentada no ensino de vias metabólicas. Revista de Ensino de Bioquímica. V.12, N.2. Pp. 129-143.

<http://bioquimica.org.br/revista/ojs/index.php/REB/article/view/402>

Resumo

Um quebra-cabeças da glicólise em papel tem sido utilizado como estratégia para o ensino de metabolismo. Essa forma de jogo em papel demanda um número grande de instrutores e limita o acompanhamento das dificuldades apresentadas pelos alunos. A tecnologia denominada Realidade Aumentada (RA) foi empregada para favorecer o uso da estratégia de montagem de vias metabólicas em classes numerosas e armazena dados de utilização, que fornecem *feedback* para alunos e professores. Cartas com estruturas moleculares são lidas por um aplicativo instalado em dispositivos móveis que exibem informações como a estrutura 3D das moléculas, pistas para a montagem da sequência correta da via metabólica e resultados da progressão na atividade. A utilização de RA possibilitou maior autonomia para os estudantes resolverem os exercícios propostos e fornece dados de avaliação de desempenho que permite compreender, e posteriormente sanar, as dificuldades apresentadas pelos alunos.

Palavras-chave: Vias metabólicas, Realidade aumentada, Aprendizagem ativa.

Lustosa de Oliveira, M., Silva, T., Vega, J.C., Galembeck, E. (2017). El potencial de las aplicaciones educativas en el proceso de evaluación formativa. *Góndola, Enseñ Aprend Cienc*, 12(2), 98-115.

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/GDLA/article/view/11107/pdf>

Resumen

El debate sobre los objetivos reales de la evaluación no es nuevo. Sin embargo, todavía predominan aspectos como la excesiva valoración de la memoria, lo que refleja una visión tradicional y limitada. Es necesario superar el uso exclusivo de la evaluación tradicional con el fin de adoptar una evaluación formativa, modalidad que busca identificar las fallas y necesidades de los estudiantes durante el proceso educativo con el fin de recibir retroalimentación para tomar las medidas necesarias que permitan mejorar la enseñanza y el aprendizaje. Siguiendo esta necesidad, y buscando ayudar a los profesores en la aplicación de una evaluación formativa, algunos recursos tecnológicos han sido desarrollados. El presente trabajo tiene como objetivo describir el potencial de tres aplicaciones (Armet, The Cell y 3DClass) en el proceso de evaluación formativa usando las bases de datos asociadas a cada aplicación. Los resultados muestran que estas aplicaciones proporcionan métricas de evaluación más transparentes, coherentes y que permiten al profesor sistematizar criterios e indicadores, lo que reduce la subjetividad del proceso de evaluación formativa y el tiempo necesario para la preparación, tabulación y análisis de datos. Gracias a que con esta tecnología es posible verificar en tiempo real el

número de errores totales y por pregunta, preguntas con el mayor número de errores recurrentes, preguntas con el mayor y menor índice de aciertos y el tiempo que los alumnos emplean para desarrollar la actividad, es posible determinar el progreso de los alumnos a lo largo del tiempo e identificar puntualmente dónde ocurren los errores; esto permite una investigación minuciosa sobre sus posibles causas. Esta información facilita la retroalimentación para los alumnos, ya sea como intervenciones puntuales o direccionadas por parte del profesor.

Palabras clave: enseñanza de las ciencias, evaluación formativa, recursos educacionales, tecnología educacional, tendencia educacional.

Vega Garzón, J. C., Magrini, M. L. and Galembeck, E. (2017), Using augmented reality to teach and learn biochemistry. *Biochem. Mol. Biol. Educ.* 45(5), 417-420.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bmb.21063/full>

Abstract

Understanding metabolism and metabolic pathways constitutes one of the central aims for students of biological sciences. Learning metabolic pathways should be focused on the understanding of general concepts and core principles. New technologies such Augmented Reality (AR) has shown potential to improve assimilation of biochemistry abstract concepts because students can manipulate 3D molecules in real time. Here we describe an application named Augmented Reality Metabolic Pathways (ARMET), which allowed students to visualize the 3D molecular structure of substrates and products, thus perceiving changes in each molecule. The structural modification of molecules shows students the flow and exchange of compounds and energy through metabolism. © 2017 by The International Union of Biochemistry and Molecular Biology, 45(5):417–420, 2017.

Keywords: Augmented reality; metabolic pathways and regulation; using multimedia in the classroom; molecular visualization.

ANEXO 11
Artigo submetido

Juan Carlos Vega Garzón, Marcio Magrini & Eduardo Galembeck. 2017. Realidade virtual no ensino de vias metabólicas. Revista Ensino de Bioquímica.

Resumo

A literacia visual é a capacidade de compreender (ler) e usar (escrever) imagens e de pensar e aprender usando imagens (estáticas ou em movimento). A literacia visual e a visualização são componentes de aprendizagem chave na bioquímica, porque essa ciência usa modelos de moléculas para explicar como as células funcionam. Muitos estudos têm mostrado que as tecnologias de visualização (TV) podem ser úteis para desenvolver a literacia visual. O termo "realidade virtual" pode ser definido como um ambiente tridimensional imersivo, interativo, multissensorial, centrado no espectador e gerado por computador que leva em conta a combinação de tecnologias necessárias para construir esses ambientes. Nós projetamos um aplicativo de Realidade Virtual (RV) chamado VRMET para ajudar no desenvolvimento de habilidades de literacia visual para entender e representar conceitos bioquímicos. O aplicativo VRMET foi desenvolvido usando o Unity3D, o SDK de realidade aumentada da Vuforia e o SDK do Google VR para Unity. As moléculas 3D foram obtidas da Protein Data Bank e ChemSpider e otimizadas utilizando o Blender. O VRMET usa um modelo 3D a escala de uma célula animal. VRMET requer um dispositivo com câmera. O usuário pode obter a App da Google Play Store. O VRMET tem duas cenas diferentes: a cena de realidade aumentada (RA) e uma cena da realidade virtual (RV). A cena de RA permite visualizar, desde vários ângulos diferentes um modelo em escala de uma célula animal. A cena RV permite acompanhar cada uma das reações da glicólise e do ciclo de Krebs dentro do modelo celular. O VRMET permite que os alunos visualizem a estrutura molecular de substratos e produtos, percebendo assim as mudanças em cada molécula ao longo da via metabólica. Também permite observar onde ocorre cada via metabólica.

Palavras-chave: *Vias metabólicas; Realidade virtual; Aprendizagem ativa.*

ANEXO 12
Termo de aprovação da pesquisa pela Comissão de Bioética e/ou Biossegurança

COMITÊ DE ÉTICA EM
PESQUISA DA UNICAMP -
CAMPUS CAMPINAS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Design e avaliação de um aplicativo de realidade aumentada (RA) para ensino e aprendizagem do metabolismo

Pesquisador: Juan Carlos Vega Garzón

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 42439814.0.0000.5404

Instituição Proponente: Instituto de Biologia - Unicamp

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.072.883

Data da Relatoria: 18/05/2015

Apresentação do Projeto:

"O ensino e a aprendizagem de Bioquímica são instigantes e desafiadores, pela própria natureza desse conhecimento: por exemplo, a Bioquímica possui uma terminologia ampla e específica (nomes, fórmulas e estruturas químicas), exige um alto grau de abstração (Schonborn & Anderson, 2010; Santos et al, 2013) e um conhecimento básico de Química, uma área complexa da qual os alunos trazem, em geral, uma série de conceitos incompletos ou equivocados (Barke et al, 2009, Villafañe et al., 2011). A fim resolver estes problemas, melhorar a motivação, promover a aprendizagem colaborativa e a interatividade dos alunos para aprender as vias metabólicas e desenvolver habilidades necessárias para uma verdadeira compreensão dos princípios básicos e dos conceitos fundamentais da bioquímica, nós propomos o design de um aplicativo que agrega duas tecnologias promissoras realidade aumentada e analíticas de aprendizagem (Galembeck et al, 2014; Vega Garzon et al; 2014). A metodologia mais adequada para a avaliação deste tipo de tecnologias aplicadas a estudos educacionais é a pesquisa baseada em design já que esta relacionada ao desenvolvimento de um produto/artefato pedagógico. É importante ressaltar que os artefatos pedagógicos não são necessariamente produtos materiais, como livros didáticos, jogos, software, mas incluem também processos, como atividades, currículos e teorias específicas sobre ensinar e aprender (Ramos et al; 2009). O projeto é um estudo da abordagem misto

Endereço: Rua Tessália Vieira de Camargo, 126

Bairro: Barão Geraldo

CEP: 13.083-887

UF: SP

Município: CAMPINAS

Telefone: (19)3521-8936

Fax: (19)3521-7187

E-mail: cep@fcm.unicamp.br

COMITÊ DE ÉTICA EM
PESQUISA DA UNICAMP -
CAMPUS CAMPINAS



Continuação do Parecer: 1.072.883

(metodologias qualitativas e quantitativas) de caráter intervencionista."

Objetivo da Pesquisa:

"Objetivo Primário: Design e avaliação de um aplicativo de realidade aumentada para melhorar a motivação, promover a aprendizagem colaborativa e a interatividade dos alunos para aprender vias metabólicas e desenvolver habilidades necessárias para uma verdadeira compreensão dos princípios básicos e dos conceitos fundamentais da bioquímica.

Objetivo Secundário: Disponibilizar uma ferramenta validada e útil para ser usada no ensino por professores de disciplinas relacionadas com as ciências da vida."

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

"Riscos: Não apresenta nenhum risco associado.

Benefícios: Tal melhoria tecnológica permite a aplicação para turmas com maior número de estudantes com poucos instrutores, uma vez que o aplicativo oferece acesso a diversas informações e permite a discussão com os colegas. Assim, o quebra-cabeças via flashcards configura-se como um meio de interação entre os estudantes, enquanto apoiam-se na tecnologia para atuarem com maior autonomia para resolver os exercícios propostos. A Realidade Aumentada tem o potencial de ajudar os estudantes a adquirir as ferramentas intelectuais e desenvolver as habilidades necessárias para compreensão do que é uma via metabólica, quais são seus princípios básicos, seus conceitos essenciais (substrato, produto, tipos de reações e enzimas) e seus conceitos necessários (fontes de energia, cinética da reação, estequiometria, cofatores e coenzimas) não como um exercício de memorização, mas como um processo de aprendizagem significativa."

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Estudo prospectivo com amostra estimada em 500 indivíduos, sendo eles estudantes de uma disciplina de bioquímica que tenha no programa metabolismo. O pesquisador não deixa claro se haverá ou não a participação de indivíduos vulneráveis (menores de 18 anos na pesquisa).

Há evidências de que o projeto já foi iniciado, tendo em vista a publicação do artigo "Realidade aumentada no ensino de vias metabólicas" na Revista de Ensino em Bioquímica (V.12, N.2, 2014 – Publicado em: 12/12/2014 – ISSN: 2318-8790 DOI: <http://dx.doi.org/10.16923/reb.v12i2.402>). No item "Resultados" do artigo citado, fica claro a participação de sujeitos de pesquisa: "O aplicativo foi testado por duas turmas do curso de Ciências Biológicas, sendo 45 do diurno e 45 do noturno. Ao todo, os 90 alunos formaram 12 grupos; no modo Jogo da glicólise, houve registro de respostas às perguntas em 629 vezes, sendo registradas 1.056 tentativas quando incluídas

Endereço: Rua Tessália Vieira de Camargo, 126
Bairro: Barão Geraldo **CEP:** 13.083-887
UF: SP **Município:** CAMPINAS
Telefone: (19)3521-8936 **Fax:** (19)3521-7187 **E-mail:** cep@fcm.unicamp.br

COMITÊ DE ÉTICA EM
PESQUISA DA UNICAMP -
CAMPUS CAMPINAS



Continuação do Parecer: 1.072.883

as perguntas visualizadas mas não respondidas. Das perguntas respondidas, 440 (69,95%) respostas estavam corretas na primeira tentativa, 130 (20,67%) requereram de 1 a 5 tentativas e 59 (9,38%) necessitaram de mais de 5 tentativas para encontrar a resposta correta”.

Além disso, a ferramenta proposta pelo pesquisador - Augmented Reality Metabolic Pathways (ARMET)- já está disponível para Download nos seguintes endereços:
<https://play.google.com/store/apps/details?id=lte.ib.unicamp.br.armet>
<https://itunes.apple.com/us/app/armet/id874543777?mt=8>

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

1. Protocolo de Pesquisa gerado pela Plataforma Brasil com os itens parcialmente preenchidos, com o Cronograma de execução da pesquisa indicando início do projeto em 18/11/2014 e financiamento da pesquisa pelo próprio pesquisador com custo total estimado em R\$ 148.000,00;
2. Folha de Rosto preenchida e assinada pelo pesquisador responsável e pelo responsável legal pela instituição;
3. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) anexado à Plataforma Brasil;
4. Projeto de Pesquisa, com finalidade de pesquisa de doutorado, anexado à Plataforma Brasil;

Recomendações:

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

1. De acordo a Resolução CNS no466 de 2012, item XI.2.a. cabe ao pesquisador apresentar o protocolo devidamente instruído ao CEP ou à CONEP, aguardando a decisão de aprovação ética, antes de iniciar a pesquisa.

Sendo assim, o Comitê de Ética em Pesquisa não avalia projetos retrospectivamente. Existem evidências que o projeto proposto já foi iniciado (Revista de Ensino em Bioquímica (V.12, N.2, 2014 – Publicado em: 12/12/2014 – ISSN: 2318-8790 DOI: <http://dx.doi.org/10.16923/reb.v12i2.402>);

RESPOSTA: O pesquisador informou que a pesquisa não foi iniciada, e esclareceu sobre o artigo previamente publicado: "Embora o aplicativo receba o mesmo nome, a primeira versão publicada é totalmente diferente da segunda, ou seja, trata-se de um recurso atualizado e modificado para atingir os objetivos do novo projeto (...)"

ANÁLISE: Pendência atendida.

2. Há dúvidas quanto ao desenvolvimento da metodologia proposta. As atividades ocorrerão no

Endereço: Rua Tessália Vieira de Camargo, 126
Bairro: Barão Geraldo **CEP:** 13.083-887
UF: SP **Município:** CAMPINAS
Telefone: (19)3521-8936 **Fax:** (19)3521-7187 **E-mail:** cep@fcm.unicamp.br

**COMITÊ DE ÉTICA EM
PESQUISA DA UNICAMP -
CAMPUS CAMPINAS**



Continuação do Parecer: 1.072.883

horário regular de aula? Se sim, o pesquisador não descreve de qual instituição os alunos recrutados fazem parte, não apresenta a carta de autorização da instituição e do coordenador da disciplina que sofrerá intervenção. O pesquisador também não descreve a forma de recrutamento dos alunos.

Se a atividade ocorrer em horário letivo, há método alternativo de ensino aos alunos que não pretendem participar da pesquisa, sem prejuízo de informação?

RESPOSTA: O pesquisador forneceu detalhes sobre a metodologia proposta, bem como sobre o recrutamento dos alunos em documento anexado à Plataforma Brasil.

ANÁLISE: Pendência atendida.

3. Sobre o financiamento da pesquisa, no documento intitulado "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_431154.pdf", anexado na Plataforma Brasil em 23/02/2015 às 15h08, o pesquisador descreve que ele próprio é o principal financiador do projeto. Todavia, no item "Orçamento financeiro" está descrito que a bolsa do aluno será financiada pelo Departamento Administrativo de Ciências, Tecnologia e Innovación COLCIENCIAS (Colômbia). Ainda no item "Orçamento financeiro" não há previsão de custo dos materiais que serão utilizados na pesquisa (impressões, confecção de tabuleiros, cartas, etc.). Há dúvidas quanto ao principal financiador do projeto, bem como qual o custo e orçamento previsto para executar a metodologia proposta;

RESPOSTA: O pesquisador esclareceu sobre o orçamento da pesquisa. A bolsa do aluno é financiada pelo Departamento Administrativo de Ciências, Tecnologia e Innovación COLCIENCIAS (Colômbia). Os materiais que serão utilizados na pesquisa (tabuleiros, cartas e roteiros) já foram elaborados e encontram-se disponíveis para seu uso.

ANÁLISE: Pendência atendida.

4. No documento intitulado "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_431154.pdf", anexado na Plataforma Brasil em 23/02/2015 às 15h08, o pesquisador não preenche o item "Critérios de Exclusão", e não deixa claro nos "Critérios de Inclusão" se o grupo de participantes é restrito a maiores de 18 anos;

RESPOSTA: O pesquisador esclareceu os critérios de inclusão: "Estudantes maiores de 18 anos da disciplina metabolismo BB381 do curso de ciências biológicas da Universidade Estadual de Campinas."

ANÁLISE: Pendência atendida.

Endereço: Rua Tessália Vieira de Camargo, 126
Bairro: Barão Geraldo **CEP:** 13.083-887
UF: SP **Município:** CAMPINAS
Telefone: (19)3521-8936 **Fax:** (19)3521-7187 **E-mail:** cep@fcm.unicamp.br

COMITÊ DE ÉTICA EM
PESQUISA DA UNICAMP -
CAMPUS CAMPINAS



Continuação do Parecer: 1.072.883

5. No documento intitulado "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_431154.pdf", anexado na Plataforma Brasil em 23/02/2015 às 15h08, esclarecemos ao pesquisador que o item "Desfecho Primário" refere-se às variáveis e parâmetros que serão analisadas ao final do estudo, possibilitando a realização dos objetivos propostos. Ou seja, "Desfechos" são dados objetivos e mensuráveis. No caso desta pesquisa, podem ser desfechos, por exemplo: Número de vezes que a questão foi mostrada na tela do dispositivo, Número de erros por Questão, etc.

RESPOSTA: O pesquisador esclareceu o desfechos da pesquisa: "Serão coletadas informações como: pontos obtidos, tempo utilizado, número de vezes que a questão foi mostrada na tela do dispositivo e numero de erros total e por pergunta."

ANÁLISE: Pendência atendida.

6. No documento intitulado "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_431154.pdf", anexado na Plataforma Brasil em 23/02/2015 às 15h08, no item "Riscos" o pesquisador descreve que a pesquisa "Não apresenta nenhum risco associado". Sugerimos que esta frase seja substituída por "Não há riscos previsíveis". Além disso, sendo a ferramenta da pesquisa um aplicativo virtual, onde o tempo de exposição do sujeito não é controlado, a estimulação visual da tela do dispositivo poderá causar algum tipo de desconforto, que o pesquisador não descreve nas informações inseridas na Plataforma Brasil;

RESPOSTA: Sobre o item riscos, o pesquisador esclareceu que existem preocupações sobre potenciais riscos à saúde associados ao uso das tecnologias móveis, incluindo o esforço ocular devido ao trabalho em pequenas telas e a exposição à radiação eletromagnética. O pesquisador conclui que como a atividade proposta é prevista para durar cerca de duas horas, não há riscos previsíveis.

ANÁLISE: Pendência atendida.

7. No documento intitulado "PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_431154.pdf", anexado na Plataforma Brasil em 23/02/2015 às 15h08, no item "Haverá uso de fontes secundárias de dados (prontuários, dados demográficos, etc)?" o pesquisador descreve que "Não". Todavia, uma vez que as estatísticas de uso do aplicativo, enviadas através da base de dados MySQL, será um dos dados coletados pelo pesquisador, haverá o uso de fontes secundárias;

RESPOSTA: O pesquisador afirma que não haverá uso de fontes secundárias.

ANÁLISE: Diferenças de interpretação sobre definição de "fontes secundárias de dados" pelo

Endereço: Rua Tessália Vieira de Camargo, 126
Bairro: Barão Geraldo **CEP:** 13.083-887
UF: SP **Município:** CAMPINAS
Telefone: (19)3521-8936 **Fax:** (19)3521-7187 **E-mail:** cep@fcm.unicamp.br

COMITÊ DE ÉTICA EM
PESQUISA DA UNICAMP -
CAMPUS CAMPINAS



Continuação do Parecer: 1.072.883

pesquisador e o relator não é inviabiliza a aprovação desta pesquisa.

8. Sobre o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) apresentado:

8.a. No item "Desconfortos e Riscos", o pesquisador descreve "Não existem riscos nem mesmo desconfortos na utilização do aplicativo ARMET (Augmented Reality METabolic pathways) nem mesmo interferências negativas no cronograma da disciplina na qual serão aplicados". Sugerimos ao pesquisador avaliar o possível desconforto pelo estímulo visual consequente da ferramenta proposta;

8.b. No item "Benefícios" solicitamos explicitar que não há benefícios diretos aos sujeitos de pesquisa;

8.c. Sugerimos ao pesquisador retirar as palavras "e pela CONEP, quando pertinente" do corpo do TCLE, visto que o estudo foi apresentado apenas ao CEP/UNICAMP;

8.d. De acordo com o item IV.3.g. da Resolução 466/2012, o pesquisador deve esclarecer, em linguagem clara, se haverá ou não algum tipo de ressarcimento de despesas.

RESPOSTA: O pesquisador atendeu às solicitações de adequação do TCLE.

ANÁLISE: Pendência atendida.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

- O sujeito de pesquisa deve receber uma via do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado.

- O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado.

- O pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado. Se o pesquisador considerar a descontinuação do estudo, esta deve ser justificada e somente ser realizada após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou. O pesquisador deve aguardar o parecer do CEP quanto à descontinuação, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade de uma estratégia diagnóstica

Endereço: Rua Tessália Vieira de Camargo, 126

Bairro: Barão Geraldo

CEP: 13.083-887

UF: SP

Município: CAMPINAS

Telefone: (19)3521-8936

Fax: (19)3521-7187

E-mail: cep@fcm.unicamp.br

COMITÊ DE ÉTICA EM
PESQUISA DA UNICAMP -
CAMPUS CAMPINAS



Continuação do Parecer: 1.072.883

ou terapêutica oferecida a um dos grupos da pesquisa, isto é, somente em caso de necessidade de ação imediata com intuito de proteger os participantes.

- O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo. É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.

- Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projetos do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma, junto com o parecer aprovatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial.

- Relatórios parciais e final devem ser apresentados ao CEP, inicialmente seis meses após a data deste parecer de aprovação e ao término do estudo.

CAMPINAS, 21 de Maio de 2015

Assinado por:
Renata Maria dos Santos Celeghini
(Coordenador)

Endereço: Rua Tessália Vieira de Camargo, 126
Bairro: Barão Geraldo **CEP:** 13.083-887
UF: SP **Município:** CAMPINAS
Telefone: (19)3521-8936 **Fax:** (19)3521-7187 **E-mail:** cep@fcm.unicamp.br

ANEXO 13
Declaração de direitos autorais

Declaração

As cópias de artigos de minha autoria ou de minha co-autoria, já publicados ou submetidos para publicação em revistas científicas ou anais de congressos sujeitos a arbitragem, que constam da minha Dissertação/Tese de Mestrado/Doutorado, intitulada **Desenvolvimento e avaliação de um aplicativo de realidade aumentada (RA) para ensino e aprendizagem do metabolismo**, não infringem os dispositivos da Lei n.º 9.610/98, nem o direito autoral de qualquer editora.

Campinas, 20/09/2017

Assinatura : _____

Nome do(a) autor(a): **Juan Carlos Vega Garzón**
RG n.º V940281-1

Assinatura : _____

Nome do(a) orientador(a): **Eduardo Galembeck**
RG n.º 17763983