

# Desenvolvimento de um sistema tutor inteligente sobre respiração celular associado à história imersiva

Gabriela Pintar de Oliveira<sup>1</sup>, Luiz Antonio Lima Rodrigues<sup>2</sup>, Seiji Isotani<sup>3</sup>

## Resumo

*A bioquímica é uma disciplina desafiadora tanto para professores quanto para os alunos. Um dos temas apontados como centrais no estudo da bioquímica é a respiração celular, uma vez que esta apresenta conceitos que são básicos para a compreensão de processos mais complexos. Um Sistema Tutor Inteligente (STI) é uma ferramenta que objetiva proporcionar os benefícios da instrução um-para-um. Isso permite aos aprendizes treinar suas habilidades fazendo atividades em ambientes altamente interativos. A combinação do STI com histórias imersivas pode ajudar a aumentar o engajamento e facilitar o processo de aprendizagem. Neste trabalho uma história imersiva foi adicionada ao STI para abordar o assunto "respiração celular" voltado para o ensino de bioquímica de alunos da graduação.*

## 1. Introdução

A Bioquímica é uma disciplina básica presente nas grades curriculares dos diversos cursos da área da saúde e das ciências da natureza. Ao mesmo tempo, esta disciplina é frequentemente considerada desafiadora, tanto pelos alunos quanto pelos professores [Degerman e Tibell, 2012]. Entre as principais dificuldades no processo ensino/aprendizagem de bioquímica podemos citar o grande número de substâncias, reações e processos envolvidos no metabolismo celular, bem como a "invisibilidade" desses sistemas complexos. Outras dificuldades que podem ser citadas relacionam-se às representações linguísticas e visuais utilizadas, às transformações energéticas e à complexidade dos sistemas [Wilson et al., 2006].

<sup>1</sup> Pós-Graduando(a) em Computação Aplicada à Educação, USP, <gabrielapintar@usp.br>.

<sup>2</sup> Co-orientador, USP, lalrodrigues@usp.br.

<sup>3</sup> Orientador, USP, sisotani@icmc.usp.br.

Aprendizagem personalizada é um termo utilizado para descrever as diversas abordagens instrucionais voltadas para atender às necessidades de aprendizado dos indivíduos, concentrando-se adaptar o currículo de acordo com as necessidades de cada aluno [Miliband, 2006]. Com isso, propõe-se que os alunos podem entender como aprendem, possuem e conduzem seus aprendizados e são co-designers do currículo e de seu ambiente de aprendizagem. Também implica que as necessidades, interesses e capacidade de aprendizagem dos alunos determinam o ritmo da aprendizagem [Nandigam et al., 2014]. Os sistemas tutores inteligentes (STI) têm sido apontados por diversos estudos como uma ferramenta para fomentar este tipo de aprendizagem [Akyuz, 2020].

Conforme veremos adiante neste trabalho, os STIs possuem uma arquitetura básica padrão, a qual pode ser modificada de acordo com as necessidades. Por exemplo, STIs podem ser associados à história imersiva como proposta para aumentar o engajamento dos alunos [González et al., 2014].

Uma vez que ferramentas de aprendizagem personalizada voltadas para o ensino de bioquímica com foco em alunos de graduação são escassas, este trabalho teve como objetivo implementar um STI abordando o tema “respiração celular” utilizando elementos ficcionais como proposta para aumentar o engajamento e facilitar o aprendizado deste tópico por alunos de graduação. A narrativa foi construída na forma de história em quadrinhos. As perguntas, dicas e mensagens de bug implementados no STI abordam conceitos-chave do tópico escolhido. Para validação, cinco especialistas da área de bioquímica foram convidados a avaliar os diferentes aspectos do STI.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: fundamentação teórica para elaboração do STI, trabalhos relacionados encontrados na literatura, descrição do desenvolvimento da ferramenta, avaliação/validação pelos especialistas, resultados, discussão e conclusão.

## **2. Fundamentação Teórica**

### **2.1. Desafios no ensino de bioquímica**

Nas últimas décadas, com os avanços de áreas como a metabolômica, a proteômica, a genômica e as ômicas em geral, bem como da biotecnologia, os desafios relacionados ao ensino de bioquímica aumentaram [Tibell e Rundgren, 2010]. Um grande desafio relaciona-se ao risco de valorizar mais os aspectos técnicos do que as habilidades lógicas e críticas de pensamento [Bosch, 2018]. Nesse contexto, o desafio do professor é selecionar recursos didáticos que sejam capazes de orientar os alunos nesse processo.

O metabolismo celular compreende milhares de reações enzimáticas coordenadas. Para isto, diferentes compostos, enzimas, reações, nutrientes, insumos energéticos e transformações estão organizados em vários níveis. É interessante ressaltar que, apesar de toda a complexidade do processo, os sistemas celulares apresentam algumas "soluções padrão" para problemas comuns [Degerman e Tibell, 2012]. Como exemplo, podemos citar o potencial quimiosmótico entre as membranas que fornece tanto a força motriz para a produção de ATP quanto para a sinalização nervosa, além dos diversos intermediários metabólicos participam de vias diferentes. Nessa perspectiva, o desafio para o aluno é descobrir essas semelhanças. Para auxiliar nesse processo, existem alguns conceitos fundamentais definidos na educação biológica. Khodor et al. (2004) construíram um

Framework hierárquico de Conceitos de Biologia, identificando conceitos centrais, a partir dos quais se desenvolvem conceitos mais detalhados e complexos. Com relação ao metabolismo celular, foram identificados os seguintes conceitos: estrutura e função de biomoléculas, estrutura e função de proteínas, regulação alostérica, bioenergética e equilíbrio, introdução ao metabolismo e conceitos de compartimentação, termodinâmica e energia, e alguns dos conceitos em regulação e organização e estrutura [Howit et al., 2008, Khodor et al., 2004; Rowland et al., 2011; Voet et al., 2003]. Esses conceitos ajudam a classificar os objetivos de aprendizagem e a definir as estratégias pedagógicas.

## **2.2. Sistemas tutores inteligentes**

Os STIs têm atraído a atenção de pesquisadores da educação, psicologia e inteligência artificial. O objetivo de um STI é proporcionar os benefícios da instrução individualizada. Isso permite que os aprendizes treinem suas habilidades realizando atividades em ambientes altamente interativos. Normalmente, sistemas baseados em computadores usam métodos instrucionais tradicionais, nos quais a instrução não se preocupa em estabelecer um modelo capaz de guiar o aprendiz durante o desenvolvimento do aprendizado. Desta forma, estas instruções algumas vezes não auxiliam os alunos individualmente. Por outro lado, um STI rastreia cada ação dos aprendizes nesses ambientes interativos e desenvolve um modelo do seu conhecimento. A partir disso, estratégias instrucionais podem ser elaboradas, tanto em termos de conteúdo quanto estilo, e proporcionar explicações relevantes, dicas, exemplos, demonstrações e problemas práticos de forma individualizada [Phobun e Vicheanpanya, 2009].

Em um STI tradicional, os componentes de conhecimento são organizados em diferentes módulos como módulo do aluno, módulo de domínio, módulo do tutor e interface ou módulo de comunicação, que interage com o usuário [Gonzalez et al., 2014]. O módulo do aluno contém o corpo de conhecimento que caracteriza o usuário. Esse usuário é representado a partir de diferentes perspectivas, como os aspectos psicossociais, características que influenciam o processo de aprendizagem, o conhecimento que possui sobre o domínio e as habilidades mínimas necessárias para realizar as atividades de aprendizagem. Esse módulo também deve ser capaz de rastrear o comportamento do aluno enquanto trabalha em diferentes sessões, ajudando a identificar "o que ele sabe e o que ele não sabe". Então, este módulo representa o estado cognitivo do aluno. A identificação desse estado cognitivo é importante para que o sistema possa selecionar as perguntas com base nas respostas do usuário.

Por sua vez, no módulo de domínio a base de raciocínio-conhecimento e os mecanismos de resolução de problemas são armazenados. Dentro do módulo de domínio é importante citar o conceito de componente de conhecimento, o qual pode ser definido como qualquer fragmento de conhecimento que seja persistente, específico do domínio, e necessário para resolver uma tarefa ou exercício. A resolução de um exercício normalmente requer mais de um componente de conhecimento. A identificação desses componentes é fundamental para o direcionamento da implementação do módulo do tutor levando em conta os dados de entrada do módulo do aluno [Gonzalez et al., 2014].

O módulo do tutor serve como tutor ou professor e contém informações tanto para decidir como as tarefas são apresentadas ao aluno (laço externo), quanto por fornecer ajuda passo a passo (laço interno), de acordo com os objetivos de aprendizagem, o módulo de domínio. Este módulo é responsável pela ativação do módulo "interface". O módulo

"interface" contém os mecanismos de representação de conteúdos educativos (imagens, som, animações, linguagem, entre outros) e apresenta ao aluno as tarefas de aprendizagem.

O desenho de um STI é muito complexo. Ele deve levar em conta os quatro modelos clássicos de STI citados acima, bem como deve lidar com vários participantes, como desenvolvedores, autores, professores, alunos e assim por diante [Woolf, 2010]. Dependendo da arquitetura do sistema, os módulos podem ser divididos e subdivididos em peças menores, comunicando-se entre si [Gonzales et al., 2014]. Em geral, o desenvolvimento de um STI não faz esforços para engajar e motivar alunos [Demerval, 2016]. Por outro lado, alunos engajados, motivados e intrigados tendem a ter melhores resultados de aprendizado [Vanlehn et al., 2011].

### 2.3. Uso de histórias imersivas

A narrativa, definida como escrita que delinea ações e eventos que se desdobram causalmente ao longo do tempo, tem se mostrado útil para melhorar os resultados de aprendizagem. Em alguns trabalhos, as narrativas foram superiores aos textos expositivos na facilitação da compreensão, retenção, recordação e facilidade de leitura [Landers, Armstrong e Collmus, 2017]. Desta forma, transformar um material descritivo ou expositivo em conteúdo narrativo sem alterar seu conteúdo pode contribuir para o processo de aprendizagem [Armstrong e Landers, 2017; Demerval et al., 2019].

Contar histórias (ou *storytelling*) é uma técnica comumente usada para aumentar a motivação do aluno usando a narrativa [McDrury & Alterio, 2002]. No entanto, no *storytelling*, as narrativas são usadas para estimular uma reflexão pessoal sobre conteúdo.

O *Storytelling* digital combina a arte de contar histórias com diferentes multimídias digitais, como imagens, áudio e vídeo [Smeda et al., 2014]. As histórias possuem apenas poucos minutos de duração e tem uma variedade de usos, incluindo a reconstrução de eventos históricos, informar ou até mesmo instruir sobre um tópico específico de interesse. Na década de 1990 foi fundado o centro para *storytelling* digital, uma comunidade sem fins lucrativos com objetivo de fornecer treinamento para pessoas interessadas em criar e compartilhar suas narrativas pessoais. Este centro também ficou conhecido por desenvolver e disseminar os sete elementos do *storytelling* digital.

Os sete elementos são: ponto de vista, questão dramática, conteúdo emocional, o presente da sua voz, o poder da trilha sonora, economia e ritmo. Através desses elementos o autor pode contar uma história a partir da sua própria perspectiva, abordando uma questão que terá sido respondida ao final da história. Para isso, ele poderá personalizar de forma a ajudar a audiência a entender o contexto. A história deverá ser construída apenas com o conteúdo necessário, sem sobrecarregar o expectador com muita informação e com um ritmo que o permita acompanhar [Robin et al., 2011].

Existem muitos tipos diferentes de histórias digitais, mas é possível categorizar os principais tipos em narrativas pessoais, documentários históricos e histórias desenhadas para informar ou instruir o expectador sobre um conceito ou prática específicos. O *storytelling* pode ser usado de diversas formas em educação [Robin et al., 2011]. Uma história digital pode servir como estratégia para capturar a atenção dos alunos e aumentar

seu interesse em explorar novas ideias, podendo também ajudar na compreensão de assuntos complexos e na retenção de novas informações [Smeda et al., 2014].

Dessa forma, o uso de sistema tutores inteligentes, associados a histórias imersivas, pode ser útil no ensino de bioquímica para alunos do ensino superior.

### 3. Trabalhos relacionados

Não foram encontrados STIs desenvolvidos na área de bioquímica voltados para alunos de graduação. A busca por assuntos relacionados permitiu encontrar STIs de química e biologia. Química geral é a base para a compreensão da bioquímica. Nesse contexto, foram encontrados dois STIs voltados para auxiliar alunos do ensino médio no estudo de química: o PQtutor [Theis, 2019] e o Quantum chemistry [Walsh et al., 2002].

Mais diretamente relacionado à bioquímica, o tema “metabolismo” foi encontrado como parte de um STI de biologia para alunos da sétima série [Hamed e Abu Nasser, 2017]. Este STI descreve um modelo de domínio baseado nas sete atividades que diferenciam os organismos vivos dos seres não vivos. Estas são as sete características dos organismos vivos: crescimento, reprodução, movimento, resposta, metabolismo, organização, nutrição.

Desta forma, este é o primeiro trabalho a construir um STI associado a elementos ficcionais voltados para a facilitação do aprendizado de bioquímica voltados para alunos do ensino superior.

### 4. Desenvolvimento

Sabendo-se das dificuldades que a maioria dos alunos de graduação possui sobre o tema respiração celular, e ainda, sabendo-se que este é a base para a compreensão dos demais processos metabólicos, este tema foi escolhido para ser abordado como um STI [Degerman e Tibell, 2012].

Para construção do STI, conforme descrito anteriormente, os quatro componentes clássicos que precisam ser trabalhados são o módulo de domínio, o módulo do aluno, o módulo do tutor e a interface.

#### 4.1. O módulo de domínio

Um total de 11 etapas formam o STI, cada etapa apresenta um conjunto de perguntas. As questões foram elaboradas no formato de verdadeiro ou falso e de questões dissertativas elaboradas com base em experiência pessoal de acompanhamento das dificuldades dos alunos de graduação. Os componentes cognitivos envolvidos na resolução das perguntas estão descritos a seguir:

1. Importância dos carboidratos: questão de verdadeiro ou falso que demanda do aluno conceitos relacionados às propriedades de macromoléculas, citologia e fisiologia.
2. Tipos de transporte de substâncias através da membrana.
3. Mecanismo de ação da insulina.
4. Localização subcelular da glicólise.

5. Identificação dos intermediários metabólicos da glicólise: demanda que o aluno saiba identificar corretamente as funções químicas.
6. Reações da fase de gasto (ou investimento) da glicólise.
7. Saldo da glicólise e identificação da enzima marca-passo da via glicolítica.
8. Fermentação.
9. Localização subcelular do ciclo do ácido cítrico e da cadeia respiratória.
10. Moléculas formadas para cada piruvato que alimenta o ciclo do ácido cítrico.
11. Formação do gradiente de prótons na cadeia respiratória.

As perguntas foram implementadas no Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT - <http://cdn.ctat.cs.cmu.edu/html-editor/editor.html>). Para cada uma das perguntas, as dicas correspondentes, mensagens de bugs para as respostas incorretas e grafos de comportamento foram cadastrados. O pacote foi implementado utilizando-se o Tutorshop (<https://school.tutorshop.andrew.cmu.edu/>), um sistema gratuito de gerenciamento de STIs. A sequência das perguntas pode ser explorada em <https://school.tutorshop.andrew.cmu.edu/> utilizando-se como login “bancatcc” e senha “bancatcc”.

## 4.2. Módulo do aluno

O módulo do aluno representa o domínio dos alunos e define como raciocinar sobre sua compreensão. A ferramenta utilizada para implementar o STI foi o Tutorshop. Esta ferramenta gera uma planilha de resultados com o desempenho dos usuários apresentando as perguntas respondidas na primeira tentativa, taxa de perguntas com solicitação de dicas sem respostas incorretas, respostas incorretas com e sem a solicitação de dicas, o tempo médio por pergunta e o tempo médio total gasto do conjunto de problemas. Estas informações podem ser utilizadas pelos professores para acompanhar o aluno no processo de aprendizagem.

## 4.3. Módulo do tutor

O módulo do tutor controla as funções gerais do sistema de tutoria inteligente.

As perguntas no STI elaborado neste trabalho possuem uma ordem fixa em uma sequência que acompanha as diferentes etapas da respiração celular. As dicas para cada etapa foram elaboradas com base nos conceitos que o aluno deve saber para chegar à resposta correta. As mensagens de erro foram elaboradas pensando nos principais equívocos conceituais cometidos pelos alunos, por exemplo, na identificação de transporte de membrana por difusão simples ou difusão facilitada.

## 4.4. Interface

A interface permite a comunicação entre alunos e computadores. O Tutorshop contém interfaces para dois usuários: o professor e o aluno. O aluno pode usar suas interfaces através da tela de login. Ao entrar no sistema, o aluno tem acesso direto ao conjunto de problemas, bem como à sua barra de progresso.



A interface do professor permite implementar as perguntas e grafos de comportamento previamente cadastrados no CTAT, importar alunos e atribuir uma pergunta ou um conjunto de perguntas a esses alunos. O sistema também fornece relatórios de desempenho dos alunos no sistema.

#### 4.5. Associação de histórias imersivas ao STI

A estrutura de *storytelling* foi usada para despertar a curiosidade do aluno, de forma que a abordagem escolhida foi a dieta com restrição no consumo de carboidratos e o emagrecimento. Esta é uma pergunta que frequentemente é trazida pelos próprios alunos durante as aulas e nota-se o alto grau de interesse que eles demonstram quando esse assunto é discutido [Bruna et al., 2019].

Dessa forma, a história retrata um diálogo entre uma personagem, a Lara, e o interlocutor, que é o próprio aluno. Esta abordagem foi escolhida pensando-se em uma forma de fazer com que o aluno se sinta parte da narrativa. Ao longo da história, é a curiosidade de Lara que instiga o interlocutor a demonstrar seus conhecimentos em bioquímica respondendo às perguntas do STI. Após a elaboração da narrativa, a história foi construída no formato de quadrinhos utilizando-se o Power Point. A história em quadrinhos foi salva como imagem e utilizada no CTAT.

### 5. Avaliação

Cinco docentes especialistas da área de bioquímica foram convidados a explorarem a ferramenta e responderem às perguntas abertas descritas abaixo:

*Após explorar a sequência de 11 perguntas, por favor, comente sobre os aspectos abaixo:*

- *A complexidade das perguntas.*
- *A história e o engajamento.*
- *A imagem e o formato de quadrinhos.*
- *As dicas e sua capacidade de apoiar a construção do raciocínio pelo aluno.*
- *Os domínios cognitivos abordados.*
- *A capacidade da ferramenta de ajudar o aluno no aprendizado do tema respiração celular*
- *Sugestões.*

As perguntas foram disponibilizadas através de um formulário online do google através do link <https://forms.gle/viJGQtTfo1GQsFdJ9>. O formato de perguntas abertas foi escolhido para dar a possibilidade de que cada avaliador pudesse contribuir com sugestões que permitissem a melhora do STI.

Os especialistas são docentes de graduação na área de bioquímica há pelo menos 4 anos. As áreas de formação são biomedicina e biologia. De maneira geral, lecionam bioquímica para alunos dos cursos de biomedicina, farmácia, fisioterapia, biologia e enfermagem.

## 6. Resultados

Após a definição dos conceitos básicos a serem abordados, da elaboração da narrativa e da construção da história em quadrinhos, o resultado final do STI implementado no Tutorshop está ilustrado na figura 1.

Respiração Celular: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Perguntas em ordem sequencial (laço externo)

Esta é Lara. Ela quer perder peso e começou a procurar na internet dietas que pudesse seguir, encontrou um site que dizia:

"a dieta hiperproteica, baseia-se no aumento do consumo de proteínas, principalmente de origem animal e, num primeiro momento, na redução drástica do consumo de carboidratos. Dessa forma, seria possível causar um choque no organismo e ativar a queima significativa dos depósitos de gordura."

Lara sabe que você está estudando bioquímica na faculdade e te procurou pra perguntar se essa dieta seria uma boa ideia. Para ajudá-la melhor, você decidiu explicar o que você está aprendendo em suas aulas.

Se é possível obter energia a partir dos depósitos de gordura, porque eu preciso de carboidratos?

Essa é fácil responder!! Minha prof repete isso milhares de vezes!! haha

Espaço onde aparecem as dicas (laço interno) e mensagens de bug.

Sobre a importância dos carboidratos, classifique as afirmações como verdadeiras (V) ou falsas (F):

- Lipídeos são moléculas muito hidrofílicas e, por isso, geram menos energia
- Hemácias só podem usar carboidratos como fonte de energia
- Uma molécula de glicose gera mais energia do que uma molécula de ácido graxo
- O cérebro usa glicose como fonte de energia preferencial
- Apenas organismos eucariontes podem usar glicose como fonte de energia

Previous Next

Hint Done

- Tipo de transporte
- Transportador
- Estrutura química
- Reação de fosforilação
- Reação fosforilação
- Enzima marca-passo

**Figura 1. Visão geral do STI. A apresentação da narrativa se deu no formato de história em quadrinhos. As perguntas foram cadastradas em ordem sequencial, de forma que o aluno só consegue prosseguir após completar a etapa atual.**

Na organização da narrativa, a personagem (Lara) sempre está relacionada ao balão azul, enquanto o interlocutor, que é o próprio aluno, sempre está representado pelo balão laranja (Figura 2).





Figura 2. Representação do diálogo entre a personagem (Lara) e o interlocutor (aluno).

Os resultados obtidos a partir da análise dos especialistas foram analisados qualitativamente por análise temática. Com relação às perguntas sobre o tema respiração celular, os especialistas responderam que elas abordam conceitos-chave do tema respiração celular e que fazem o aluno pensar. Eles também consideraram que as perguntas seguiram uma ordem coerente e com uma complexidade que aumentou progressivamente do início ao fim. A história foi considerada interessante com relação ao seu potencial de engajamento pela maioria dos especialistas, tendo sido descrita como “integrativa e imersiva”. Apenas um especialista considerou que em alguns momentos a história pareceu infantilizar o aluno (que é um aluno universitário). A estrutura em forma de quadrinhos foi referida como sendo uma “forma de trazer informalidade sem perder a qualidade em termos de conteúdo”.

Com relação às dicas cadastradas, foi sugerido que as mesmas poderiam ser aprimoradas em algumas questões para aumentar seu potencial de fazer com que o aluno busque por mais informações. Entretanto, os especialistas concordaram que fornecer dicas que sejam capazes de auxiliar na construção do raciocínio é, talvez, um dos maiores desafios desse tipo de abordagem.

Por sua vez, os domínios cognitivos foram descritos como bem trabalhados. Ainda, foram colocadas como sugestões a flexibilização dos termos utilizados em algumas respostas, principalmente referindo-se às diferentes nomenclaturas que os intermediários metabólicos podem ter nos diferentes livros-texto. Ainda, um dos especialistas considerou que uma sequência de 11 perguntas sobre esse tema de bioquímica pode ser muito longa e contribuir para que o aluno se disperse. Foi sugerido que a história fosse fragmentada em vários episódios mais curtos, deixando sempre uma pergunta maior por ser respondida no próximo episódio.

Ainda, 100% dos especialistas respondeu que acha que o STI seria capaz de auxiliar o aluno no processo de aprendizagem do tema “respiração celular” e que usaria a ferramenta com suas turmas.

## 7. Discussão

Com relação ao metabolismo celular, muitas vezes as dificuldades dos alunos podem ser divididas em dificuldades conceituais, que incluem preconceitos e equívocos, e dificuldades de raciocínio, que se referem à dificuldade dos alunos de compreenderem relações causais e processos complexos, que muitas vezes abrangem dois ou mais domínios conceituais [Grayson et al., 2001]. Estas dificuldades relacionadas ao ensino da bioquímica em nível universitário têm sido pouco investigadas [Duit, 2009].

Entre as principais dificuldades com relação às vias metabólicas e suas conexões destacam-se àquelas sobre a glicólise [Oliveira et al., 2003], à respiração celular [Marmaroti e Galanopoulou, 2006] e às interações metabólicas [Morton et al., 2008]. Equívocos comuns são de que as células humanas usam apenas a glicose como substrato para produção de ATP e que este processo é independente do transporte de elétrons na fosforilação oxidativa [Luz et al., 2008; Oliveira et al., 2003]. Outras fontes de problemas para os alunos são as relações causais entre os elementos em processos complexos como fotossíntese e fosforilação oxidativa [Nerdel et al., 2002].

Sobre o potencial dos STIs de facilitar o processo de aprendizagem uma revisão realizada por Akyuz (2020) sugere, a partir da análise de diferentes estudos, que os STIs têm impactado positivamente na aprendizagem personalizada, contribuindo para melhora no desempenho dos alunos e proporcionando uma melhor gestão do tempo. A referida revisão também discute que, além de aprimorarem o desempenho dos alunos, o uso de STIs foi capaz de reduzir os custos para os institutos de formação e os sistemas educacionais. Ainda, o estudo de Yuce, Abubakar e Ilkan (2019) sugere que a satisfação com o STI aumenta a motivação dos estudantes e que esse fator pode ser o responsável pela melhora na performance.

Armstrong e Landers (2017) realizaram um estudo com 273 participantes para avaliar o papel da narrativa sobre o engajamento e a aprendizagem. Os resultados mostraram que estagiários treinados com uso de ficção se mostraram mais satisfeitos do que aqueles do grupo do texto de controle. Entretanto, a avaliação de desempenho mostrou que os estagiários do grupo controle tiveram desempenho melhor quando avaliados a respeito do conhecimento do procedimento do que estagiários treinados na condição de ficção de jogo. Dessa forma, o estudo sugere que o uso da narrativa melhorou as reações ao treinamento, mas com algum custo para a eficácia do mesmo.

Ainda, uma meta-análise recente [Sailer e Homner, 2020] apontou que o uso da de histórias imersivas parece impactar apenas os resultados de aprendizagem comportamental, não tendo efeito sobre desfechos na aprendizagem cognitiva e motivacional. O artigo discute que os artigos que representam desfechos de aprendizagem comportamental e desfechos cognitivos ou motivacionais de aprendizagem diferem com relação ao momento em que os dados foram coletados. Os desfechos cognitivos e motivacionais de aprendizagem foram medidos, na grande maioria dos trabalhos, após as intervenções, enquanto os desfechos de aprendizagem comportamental foram medidos durante as intervenções (ou seja, a medida foi confundida com a intervenção em si).

A análise da avaliação pelos especialistas sugere que o STI desenvolvido neste trabalho poderia ser uma ferramenta útil no ensino da bioquímica, auxiliando o aluno no desenvolvimento do raciocínio sobre temas complexos.

Entretanto, o presente estudo não avaliou o impacto do STI sobre o aprendizado de bioquímica com alunos de graduação, bem como não avaliou o papel do uso de elementos de ficção no aumento do engajamento e potencialização de aprendizagem. Outra limitação do presente estudo é que os especialistas convidados ministram a disciplina de bioquímica na mesma instituição, o que significa que eles estão acostumados com alunos com perfis similares.

## 8. Conclusão

Neste trabalho, foi construído um sistema tutor inteligente para auxiliar alunos de graduação no processo de aprendizagem do tema “respiração celular” da disciplina de bioquímica. O STI foi construído associado a histórias imersivas, como a narrativa. A validação realizada com professores da área de bioquímica sugere que a ferramenta pode ser útil em aumentar o engajamento e facilitar o processo de aprendizagem por alunos de graduação.

Dentro do assunto “respiração celular” foram abordados conceitos importantes e centrais como a importância da insulina, o mecanismo de transporte de glicose para o interior das células, as enzimas marca-passo, intermediários metabólicos e produtos da glicólise, os produtos do ciclo do ácido cítrico, e a localização subcelular de cada uma das etapas. A próxima etapa para esse estudo consiste em utilizar esta ferramenta com alunos de graduação e avaliar o desempenho e interação dos alunos com o sistema, bem como avaliar se o sistema é, de fato, efetivo em auxiliar no processo de aprendizagem.

## 9. Referências

- Akyuz, Y. (2020) Effects of Intelligent Tutoring Systems (ITS) on Personalized Learning (PL). *Creative Education*, 11, 953-978. doi: 10.4236/ce.2020.116069.
- Armstrong MB, Landers RN. (2017) An Evaluation of Gamified Training: Using Narrative to Improve Reactions and Learning. *Simulation & Gaming*. 48(4):513-538. doi:10.1177/104687811770374
- Bosch, G. (2018) Train PhD students to be thinkers not just specialists. *Nature* 554, 277.
- Bruna, C.E., Valenzuela, N.A., Bruna, D.V., Lozano-Rodríguez, A. and Márquez, C.G. (2019), Learning Metabolism by Problem-Based Learning Through the Analysis of Health or Nutrition Articles from the Web in Biochemistry. *Journal of Food Science Education*, 18: 37-44. doi:10.1111/1541-4329.12156
- Degerman M.S. and Tibell L.A.E. (2012) Learning goals and conceptual difficulties in cell metabolism—an explorative study of university lecturers’ views DOI: 10.1039/c2rp20035j
- Demerval D (2016) Intelligent Authoring of Gamified Intelligent Tutoring Systems. Late-breaking Results, Posters, Demos, Doctoral Consortium and Workshops Proceedings of the 24th ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalisation (UMAP 2016)
- Dermeval D, Albuquerque J, Bittencourt II, Isotani S, Silva AP and Vassileva J (2019) GaTO: An Ontological Model to Apply Gamification in Intelligent Tutoring Systems. *Front. Artif. Intell.* 2:13. doi: 10.3389/frai.2019.00013
- Duit R., (2009), *Bibliography – STCSE, Students' and Teachers' Conceptions and Science Education* published by the Leibniz Institute for Science Education at the University of Kiel
- González C, Mora A, and Toledo P (2014) Gamification in intelligent tutoring systems. *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM '14)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 221-225. DOI:https://doi.org/10.1145/2669711.2669903

- Grayson D. J., Anderson T. R. and Crossley L. G., (2001), A four level framework for identifying and classifying student conceptual and reasoning difficulties, *International Journal of Science Education*, 23(6), 611–622.
- Hamed, Mohammed A. & Abu Naser, Samy S. (2017). An Intelligent Tutoring System for Teaching the 7 Characteristics for Living Things. *International Journal of Advanced Research and Development* 2 (1):31-35.
- Howit S., Anderson T., Costa M., Hamilton S. and Wright T., (2008), A concept inventory for molecular life sciences: How will it help your teaching practice? *Australian Biochemist*, 3 December, 14–17.
- Khodor J., Halme D. G. and Walker G. C., (2004), A Hierarchical Biology Concept Framework: A Tool for Course Design, *Cell Biology Education*, 3(2), 111–121.
- Landers, R. N. (2019). Gamification misunderstood: How badly executed and rhetorical gamification obscures its transformative potential. *Journal of Management Inquiry*, 28(2), 137–140. doi:10.1177/1056492618790913
- Luz M. R. M. P., Oliveira G. A. d., Sousa C. R. d. and Poian A. T. D., (2008), Glucose as the sole metabolic fuel: The possible influence of formal teaching on the establishment of a misconception about energy-yielding metabolism among students from Rio de Janeiro, Brazil, *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 36(6), 407–416.
- Marmaroti P. and Galanopoulou D., (2006), Pupils' Understanding of Photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects, *International Journal of Science Education*, 28(4), 383–403.
- McDrury, J., & Alterio, M. (2002). *Learning through storytelling in higher education: Using reflection & experience to improve learning*. London, England: Routledge.
- Miliband, D. (2006). Choice and Voice in Personalised Learning. In *Personalising Education* (pp. 21-30). OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264036604-2-en>
- Morton J., Doran D. and MacLaren D., (2008), Common student misconceptions in exercise physiology and biochemistry, *Advances in Physiology Education*, 32, 142–146.
- Nandigam D., Tirumala S. S. and Baghaei N., "Personalized learning: Current status and potential," 2014 IEEE Conference on e-Learning, e-Management and e-Services (IC3e), Hawthorn, VIC, 2014, pp. 111-116, doi: 10.1109/IC3e.2014.7081251.
- Nerdel C., Prechtel H. and Bayrhuber H., (2002), Interactive animations and understanding of biological processes: an empirical investigation on the effectiveness of computer-assisted learning environments in biology instruction, *Proceedings of the IVth ERIDOB conference*, Toulouse.
- Oliveira G. A., Sousa C. R., Da Poian A. T. and Luz M. R. M. P., (2003), Students' Misconception About Energy-Yielding Metabolism:
- Phobun P, Vicheanpanya J (2010) Adaptive intelligent tutoring systems for e-learning systems, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol 2, Issue 2 Pages 4064-4069 <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.641>.
- Robin, B. (2006). The Educational Uses of Digital Storytelling. In C. Crawford, R. Carlsen, K. McFerrin, J. Price, R. Weber & D. Willis (Eds.), *Proceedings of SITE 2006--Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 709-716). Orlando, Florida, USA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Rowland S. L., Smith C. A., Gillam E. M. A. and Wright T., (2011), The concept lens diagram, *Biochemistry and Molecular Biology* Schönborn K. and Anderson T., (2006), The Importance of Visual Literacy in the Education of Biochemists, *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34(2), 94–102.
- Sailer, M., Homner, L. (2020) The Gamification of Learning: a Meta-analysis. *Educ Psychol Rev* 32, 77–112 <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09498-w>
- Smeda, N., Dakich, E. & Sharda, N. The effectiveness of digital storytelling in the classrooms: a comprehensive study. *Smart Learn. Environ.* 1, 6 (2014). <https://doi.org/10.1186/s40561-014-0006-3>

- Theis, K. W. (2019). PQtutor, a quasi-intelligent tutoring system for quantitative problems in General Chemistry, *Chemistry Teacher International* (published online ahead of print 2019), 20180009. doi: <https://doi.org/10.1515/cti-2018-0009>
- Tibell L. A. E. and Rundgren C.-J., (2010), Educational Challenges of Molecular Life Science: Characteristics and Implications for Education and Research, *CBE Life Science Education*, 9, 25–33.
- Vanlehn K., Burleson W., Echeagaray M. C., Christopherson R., Sanchez R, J., Hastings J., Pontet Y. H., and Zhang L.. The affective meta-tutoring project: How to motivate students to use effective meta-cognitive strategies. In 19th International Conference on Computers in Education, Chiang Mai, Thailand, 2011.
- Voet J. G., Bell E., Boyer R., Boyle J., O’Leary M. and Zimmerman J. K., (2003), Recommended Curriculum for a Program in Biochemistry and Molecular Biology, *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 31(3), 161–162.
- Walsh, M.B., Moss, C.M., Johnson, B.G. et al. (2002) Quantitative Impact of a Cognitive Modeling Intelligent Tutoring System on Student Performance in Balancing Chemical Equations. *Chem. Educator* 7, 379–383. <https://doi.org/10.1007/s00897020620a>
- Wilson C. D., Anderson C. W., Heidemann M., Merrill J. E., Merritt B. W., Richmond G. and Parker J. M., (2006), Assessing Students’ Ability to Trace Matter in Dynamic Systems in Cell Biology, *Cell Biology Education*, 5(4), 323–331.
- Woolf B. P. (2010) Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning. Morgan Kaufmann.
- Yuce, A., Abubakar, A.M. and Ilkan, M. (2019), "Intelligent tutoring systems and learning performance: Applying task-technology fit and IS success model", *Online Information Review*, Vol. 43 No. 4, pp. 600-616. <https://doi.org/10.1108/OIR-11-2017-0340>