


GLICOGÊNESE OU ‘GLICOGENÓLISE ANAERÓBIA’? COMPREENDENDO PROCESSOS DE APRENDIZAGEM EM UMA SALA DE AULA DE BIOQUÍMICA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n1-181>

Data de submissão: 22/12/2024

Data de publicação: 22/01/2025

Guilherme Orsolon de Souza

Doutor em Ciências UFRuralRJ;

Professor EBTB de Biologia – Centro Federal de Educação Tecnologia Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Campus Valença, RJ - Brasil –

E-mail: guilherme.souza@cefet-rj.br /

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0651-585X>.

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/8615679818466715>

RESUMO

Considerando aspectos teóricos e metodológicos a respeito da aprendizagem como processo de significação, examinamos como os estudantes mobilizam conhecimentos antes e depois de suas vivências em uma unidade didática que relacionava as dimensões conceitual e contextual do metabolismo glicídico. A Análise Textual Discursiva foi aplicada para analisar e auxiliar na compreensão dos textos produzidos como respostas às questões contextualizadas e problematizadas sobre metabolismo aeróbio mitocondrial e a glicogenólise muscular. Notamos que os conhecimentos prévios foram prontamente acionados e mobilizados com intuito de darem forma ao objeto de estudo. Contudo, algumas lacunas, esquecimentos e dificuldades estiveram presentes. Semelhantemente, concepções alternativas também emergiram como conhecimentos preexistentes. Apesar disso, as entendemos como novas possibilidades de ancoragem para novos contextos interativos e para que processos de (re)significação mais interessantes e proativos para os estudantes possam se estabelecer em uma sala de aula de bioquímica.

Palavras-chave: Ensino de Bioquímica. Processos de Significação. Aprendizagem.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A APRENDIZAGEM DE BIOQUÍMICA COMO PROCESSO DE SIGNIFICAÇÃO

A Educação em Ciências vem, a partir dos anos 90 do século XX, propondo repensar perspectivas teóricas-metodológicas sobre processos de ensino-aprendizagem em Ciências para o Ensino Fundamental, Médio e Superior. Para o Ensino de Bioquímica não foi diferente, desde o final dos anos 70, a Sociedade Brasileira de Bioquímica e Biologia Molecular (SBBQ) propôs discutir a necessidade de lançar novo olhar, mais cuidadoso, crítico e reflexivo, sobre o processo de ensino-aprendizagem que ocorre nesse campo do conhecimento, mas com os primeiros trabalhos publicados somente a partir da década de 90 (Loguerio; Souza; Del Pino, 2007).

Frequentemente a bioquímica é caracterizada como uma área de maior dificuldade de aprendizagem, pois envolve assuntos complexos que ocorrem em nível celular e molecular e, na maioria das vezes, abstratos, dificultando sua representação, sua compreensão, a associação e a integração entre os conteúdos em si e com diferentes contextos, comprometendo, dessa forma, a formação integrada dos estudantes nos diferentes níveis de ensino (Sabino et al., 2009; Schmidt et al., 2014; Scatigno; Torres, 2016). Especificamente no ensino superior, alguns problemas são registrados como: grande volume de informações para serem trabalhadas em uma carga horária reduzida; as ferramentas didáticas utilizadas nem sempre abordam os conteúdos de forma satisfatória; altos índices de reprovações e prejuízos ao caráter interdisciplinar que os conteúdos bioquímicos realizam com outras áreas do conhecimento, com outras disciplinas, com a prática profissional e com cotidiano dos estudantes (Albuquerque et al., 2012; Farkuh; Pereira-Leite, 2014; Cavalcante et al., 2023).

Para compreender o contexto acima e a necessidade de uma (re)construção do processo de ensino-aprendizagem, primeiramente é necessário entender que essa percepção dos estudantes reflete o modo como, nas últimas décadas, os currículos escolares vêm sendo construídos, organizados e apresentados, de modo geral, tendo como referência unicamente a dimensão conceitual das disciplinas, como ocorre na área do Ensino de Ciências e, por consequência, também no Ensino de Bioquímica (Muenchen; Delizoicov, 2014). Sob essa perspectiva, o processo de aprendizagem está ancorado em um modelo de transmissão-recepção com ênfase na memorização e posterior reprodução dos conhecimentos como nos ilustra Coll (1994, p. 148) “[...] é o que acontece quando aprende [o aluno] de uma forma puramente memorística e é capaz de repeti-los ou de utilizá-los mecanicamente sem entender em absoluto o que está dizendo ou o que está fazendo.”

A exemplo disso, temáticas que tratam sobre diferentes caminhos metabólicos deveriam ser compreendidas de forma integrada, associada para que se alcance alguma compreensão sobre a

complexidade das reações enzimáticas, transformações e interconexões entre vias bioquímicas, mas que são frequentemente ensinadas(?) separadas, individualizadas (Albuquerque et al., 2012; Farkuh; Pereira-Leite, 2014; Scatigno; Torres, 2016; Cavalcante et al., 2023). Essa individualização do conhecimento gera tais dificuldades de aprendizagem relatadas pelos estudantes porque enfraquece sua capacidade analítico-associativa, sua autonomia e autoestima, como quando são postos frente à análise, à interpretação, a associações entre informações e à tomada de decisão de modo crítico, colaborativo em um mundo permeado de questões de ordem científica, tecnológica, social etc. (Machado; Orsolon-Souza, 2018).

Consequentemente, enquanto docentes da área de Educação em Ciências, nos questionamos sobre como estruturar um processo de ensino-aprendizagem que não se limite apenas a memorização/reprodução de conceitos e fenômenos científicos, mas leve em consideração, e incorpore a essa dimensão científica, outros aspectos como a relação entre disciplinas e campos de conhecimentos distintos, contextos sociais, econômicos etc., para a formação não só de profissionais, mas de cidadãos/cidadãs que se posicionem em um mundo científico e tecnológico de forma crítica e segura (Machado; Orsolon-Souza, 2018). A resposta para nossas inquietações não está (nem estará!) pronta, trata-se de um caminho pedagógico que constantemente vem se traduzindo em (re)pensar nossa prática docente e (re)construir a sala de aula como um espaço dialógico onde processos de aprendizagem mais interessante possam se estabelecer, ao mesmo tempo em que alguns conhecimentos de ordem científica, que estão expressos nos conteúdos curriculares a serem ensinados, possam ser apreendidos de modo relevante pelos estudantes (Oliveira; Amaral; Amaral, 2023).

A vista disso, ao buscarmos possibilidades pedagógicas, que agregam em si dimensões epistemológicas e metodológicas, entendemos que a aprendizagem em Bioquímica incorpora também diversos campos de conhecimentos, conexões com outras disciplinas, diferentes contextos sociais, econômicos, ambientais etc., superando a perspectiva meramente conceitual ou conteudista (Loguercio; Souza; Del Pino, 2007). Segundo Coll (1994, p. 148) “O aluno aprende um conteúdo qualquer – um conceito, uma explicação de um fenômeno físico ou social, um procedimento para resolver determinado tipo de problemas, [...] – quando é capaz de atribuir-lhe um significado.”. Assim sendo, na perspectiva de modificação dessa condição e de reestruturação da percepção do processo de ensino-aprendizagem que incorpore essa complexidade, lançamos mão de uma matriz teórico-metodológica que situa a aprendizagem como um processo de construção de significados, ou seja, que vislumbra caminhos viáveis para que conceitos, fenômenos e a interconexão entre vias bioquímicas passem a ser construídos de modo significativo pelos estudantes (Loguercio; Souza; Del Pino, 2007; Moreira, 2011; Gámez; Ruz; López, 2015; Silveira; Rocha, 2016; Felicetti; Batista, 2023).

Por conseguinte, em nossa matriz teórico-metodológica, para a construção de uma aprendizagem mais integrada, na qual os estudantes são mais estimulados, é necessário que haja uma relação entre seus conhecimentos prévios e os novos conhecimentos e trabalhados em contextos mais dinâmicos e proativos em sala de aula (Sutton, 1996; Felicetti; Batista, 2023). Em outros termos, um conhecimento prévio ou subsunçor caracteriza-se como um “[...] conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos de um indivíduo, que permite dar significado ao novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto.” (Moreira, 2011, p. 14).

Nesse sentido, os estudantes, com intuito de dar significados, podem apresentar concepções alternativas (conhecidas também como concepções intuitivas, espontâneas ou erros conceituais) oriundas de suas interações com o meio ambiente em que vivem e/ou a troca de conhecimento com outras pessoas, como formas de conhecimentos prévios (Pietrocola, 2005; Figueira; Rocha, 2011). Nesse caso, são entendidas como aqueles conhecimentos que os estudantes têm sobre os fenômenos naturais, mobilizadas espontaneamente para dar sentido as situações-problemas em um processo de aprendizagem e, na maioria das vezes, não concordam como conceitos ou leis científicas (Leão; Kalhil, 2015). Contudo, podem funcionar como conhecimentos relevantes ou como os subsunçores disponíveis na estrutura cognitiva dos estudantes, sob os quais os novos conhecimentos a serem trabalhados podem ser ancorados, auxiliando na transposição de uma aprendizagem mecânica para uma aprendizagem significativa (Krause; Sheid, 2018).

A vista disso, consideramos também que a construção de significados de ordem científica e bioquímica está intrinsicamente associada ao pensamento, a linguagem e a experiência, ou seja, ao “[...] desenvolvimento de modos de observar, e de modos de relacionar-se com a realidade; que isto implica e supõe os modos de pensar, os modos de falar e os modos de fazer, mas sobretudo, a capacidade de juntar todos esses aspectos”. Nesse sentido, o processo de aprendizagem pode gerar alguma tensão, conflito, como também, compartilhamentos e convergência que vão auxiliando a compreensão do processo de aprendizagem em si e a (re)construção dos conhecimentos em contexto social, interativo (Arcà; Guidoni; Mazzoli, 1990, p. 24-25).

Dessa forma, nos propusemos a elaborar e a aplicar uma unidade didática que abarcasse a complexidade entre as dimensões conceitual e contextual dos conhecimentos científicos e bioquímicos, e que o processo de aprendizagem ocorresse de forma significativa tal como proposto por Zabala (1998). Conforme esse autor, unidade didática se caracteriza como atividades teórico-práticas desenvolvidas de modo estruturado e articulado com o objetivo de se construir alguma aprendizagem. Portanto, a unidade didática precisa envolver o resgate dos conhecimentos prévios e possíveis associações com os novos conhecimentos trabalhados, os conteúdos curriculares necessitam

ser desenvolvidos de forma significativa e ajustados ao nível de desenvolvimento dos estudantes e as atividades teórico-práticas precisam ser motivadoras da aprendizagem, gerando autoestima e autonomia durante o processo de aprendizagem em si.

A estruturação da unidade didática foi feita a partir dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2002) caracterizados como: Problematização inicial quando são estimulados a apresentarem suas percepções, seus conhecimentos anteriores sobre um determinado corpo de conhecimento; Organização dos conhecimentos quando esse mesmo corpo de conhecimento precisa ser ativado e trabalhado de forma estruturada para auxiliar na sua compreensão e da problematização inicial; Aplicação dos conhecimentos quando o corpo de conhecimento trabalhado nas etapas anteriores são sistematizados para que analisem, interpretem e proponham questões para que situações e/ou contextos reais possam ser compreendidos pelo mesmo corpo de conhecimento.

Para tanto, trabalhamos com estudantes da disciplina Bioquímica Geral, pertencente ao ciclo de disciplinas obrigatórias do curso de Engenharia de Alimentos do CEFET/RJ – Valença. É recorrentemente indicada pelos estudantes como uma das de maior dificuldade de aprendizagem, razão pela qual aplicamos nossa unidade didática que abordou, através de atividades teórico-práticas didáticas diversas, os conteúdos curriculares sobre metabolismo glicídico (glicólise, ciclo de Krebs, cadeia transportadora de elétrons, glicogenólise, glicogênese e gliconeogênese).

Sendo assim, nosso objetivo foi analisar sequências escritas com intuito de examinar como os estudantes acionam e mobilizam conhecimentos, conceitos, vias bioquímicas e suas interconexões a respeito do metabolismo aeróbio mitocondrial e sobre o metabolismo do glicogênio antes e depois do desenvolvimento da unidade didática supracitada.

2 PERCURSOS METODOLÓGICOS

2.1 NATUREZA DA PESQUISA

O trabalho foi realizado seguindo uma perspectiva qualitativa pois se preocupou com as respostas, as proposições, as indicações dos estudantes durante o desenvolvimento das atividades e a realização das questões propostas (Víctora; Knauth; Hassen, 2000). A análise qualitativa se debruça sobre uma realidade que não pode ser quantificada, dimensionada, porque tem como premissa básica a interpretação dos fenômenos, a atribuição de significados e o ambiente natural como princípios diretos para investigar ou explorar a compreensão de uma dada cultura e do universo no qual se concentra “[...] pois o ser humano se distingue não só por agir, mas por pensar sobre o que faz e por

interpretar suas ações dentro e a partir da realidade vivida e partilhada com seus semelhantes.” (Minayo, 2009, p. 21).

Dessa forma, os docentes-pesquisadores têm uma atribuição relevante no processo e os significados construídos tornaram-se o principal eixo do estudo através da observação dos participantes e do contato direto e pessoal com o universo pesquisado, com abordagem na compreensão da perspectiva dos participantes. Entendemos, assim, que o presente estudo aborda uma interpretação, uma análise, e, ainda que tenhamos nos empenhados em agrupar dados reais e objetivos a respeito da vida e do universo da pesquisa, inevitavelmente, nossa abstração e subjetividade se fizeram presentes ao longo do trabalho (Bogdan; Biklen, 2010).

2.2 O LOCAL E OS SUJEITOS DA PESQUISA

Aplicamos o trabalho em uma turma com cinco estudantes (sendo três do sexo feminino e dois do sexo masculino) matriculados no semestre de 2022/2 na disciplina Bioquímica Geral do curso de bacharelado em Engenharia de Alimentos do Centro de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ, situado em Valença, RJ, Brasil. Os estudantes eram moradores de Valença e de outros municípios do Estado do Rio de Janeiro. As informações foram registradas entre outubro e dezembro de 2022 durante as aulas que aconteciam duas vezes por semana, com uma hora e meia de duração cada. De acordo com a matriz curricular vigente, a disciplina caracteriza-se com quatro tempos de aulas/créditos teóricos semanais.

Ressaltamos que, recorrentemente, essa disciplina tem número reduzido de matrículas devido a elevada retenção nas disciplinas anteriores relacionadas direta/indiretamente (Biologia Geral, Química Geral e Química Experimental) e/ou nos pré-requisitos (Química Orgânica 1 e 2).

Foi elaborado e entregue a cada estudante o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), destacando os objetivos da pesquisa, justificativa, uma introdução sobre desenvolvimento metodológico dos trabalhos, sobre o docente-pesquisador, aspectos éticos, de sigilo, de armazenamento e de confidencialidade dos dados e dos participantes envolvidos entre outros, assim sendo, todos os estudantes assinaram o TCLE e participaram pesquisa.

2.3 A CONSTRUÇÃO DAS UNIDADES DIDÁTICAS

Definiremos ‘unidades didáticas’ como um grupo de atividades com características teórico e/ou prática que devem ser trabalhadas em uma sala de aula de bioquímica de modo estruturado e articulado com o objetivo de atingir algum processo de aprendizagem desejado. As temáticas utilizadas tratavam sobre o metabolismo glicídico: respiração aeróbia celular (glicólise, ciclo de Krebs

e cadeia transportadora de elétrons/fosforilação oxidativa), glicogenólise, glicogênese e gliconeogênese.

As unidades didáticas devem abranger alguns parâmetros ou objetivos educacionais como: (i) o registro e a recuperação dos conhecimentos prévios e a promoção de correlações com novos conhecimentos desenvolvidos em sala de aula; (ii) os conteúdos/assuntos/temas devem ser apresentados de modo significativo e apropriados aos nível de compreensão dos estudantes; (iii) as atividades teórico-práticas precisam motivá-los no processo de aprendizagem, despertando autoestima, autonomia, atitude colaborativa e pensamento crítico frente a questões que tangem à bioquímica e ao universo científico (Zabala, 1998). Para tanto, as unidades didáticas foram divididas em três etapas distintas seguindo os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov discriminadas a seguir (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2002).

2.4 PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL - ETAPA 1: RESGATANDO CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Etapa desenvolvida através de questões e/ou situações que estimularam os estudantes a exporem suas percepções, ou seja, auxiliou no registro dos conhecimentos prévios sobre os assuntos que foram tratados em disciplinas anteriores com temáticas similares. Especificamente, construímos um pré-teste contendo duas questões discursivas que abordavam alguma(s) etapa(s) da via do metabolismo glicídico. A primeira solicitava conexões entre as etapas do metabolismo aeróbio mitocondrial, e a segunda, discussões sobre a degradação do glicogênio muscular.

2.5 ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO - ETAPA 2: TRABALHANDO CONTEÚDOS BIOQUÍMICOS

Estruturamos essa etapa através de um corpo de conhecimento que precisou ser ativado para auxiliar na compreensão dos conteúdos obrigatórios da disciplina Bioquímica Geral e da problematização inicial. Para tanto, acionamos e trabalhamos a temática metabolismo glicídico através de esquemas, textos, ilustrações que apresentavam e relacionavam os ciclos, suas reações e/ou os mecanismos enzimáticos envolvidos, aulas teóricas e expositivas, discussões em grupo através de exercícios contextualizados e/ou problematizados para fixação dos conhecimentos. Ressaltamos que textos, imagens, esquemas, ilustrações etc. utilizados também estavam disponíveis nos livros didáticos presentes na biblioteca da Unidade de Ensino para acesso dos estudantes. São recursos didáticos importantes e recorrentes no Ensino de Ciências quando a observação ou a análise direta do objeto de estudo não for possível (Krasilchik, 2016).

2.6 APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO - ETAPA 3: ANALISANDO CONTEXTOS BIOQUÍMICOS

Nessa etapa os conjuntos de conhecimentos trabalhados pelos estudantes nas duas etapas anteriores foram sistematizados para que analisassem e interpretassem situações e/ou contextos reais que pudessem ser compreendidos pelo mesmo corpo de conhecimentos. Nessa perspectiva, utilizamos textos contextualizados e/ou problematizados associados com perguntas que solicitavam a aplicação dos conhecimentos trabalhados na unidade didática durante o semestre. Denominados essa atividade de estudo de caso, na qual os estudantes precisavam interpretar, discutir e realizar proposições de forma analítica e crítica a determinadas situações, aplicando assim, um conjunto de conhecimentos bioquímicos relacionados ao metabolismo glicídico.

No primeiro estudo de caso, disponibilizamos o texto Estudo relaciona uso de pesticida a sintomas de mal de Parkinson (Gerhardt, 2000) que apresentava uma possível relação entre a substância rotenona ($C_{23}H_{22}O_6$) e doenças degenerativas. Aos estudantes foi solicitada uma construção de texto que explanasse possíveis consequências para o metabolismo aeróbio mitocondrial quando a rotenona bloqueia a oxidação do NADH (nicotinamida adenina dinucleotídeo) pela flavoproteína e, por consequência, a transferência de elétrons para a subunidade de proteína com séries de centros ferro-enxofre e para a Coenzima Q/CoQ (também conhecida como Ubiquinona/Q) do Complexo I (Complexo NADH-CoQ oxidoredutase) da cadeia transportadora de elétrons (Campbell; Farrel, 2008).

No segundo estudo de caso utilizamos o texto Controle glicêmico através da atividade física: é possível' (Arantes, 2021) que contextualizava e propunha relações entre dieta, atividade física, metabolismo de carboidratos (glicólise, glicogenólise e gliconeogênese), controle de insulina e qualidade de vida. Os estudantes precisaram discutir pontos específicos do texto como: (a) a mobilização e o aumento da disponibilidade de glicose mesmo o aporte a insulina estando em baixa concentração; (b) sob condições fisiológicas normais, qual via bioquímica poderia ser acionada quando a concentração de glicose sanguínea está aumentada; (c) sobre a via de remoção do lactato muscular.

2.7 SOBRE A CONSTRUÇÃO E A APLICAÇÃO DOS PRÉ E PÓS-TESTES

Os testes nos auxiliaram investigar, registrar e analisar a construção de processos de aprendizagem, foco do presente estudo. Como já mencionado acima, a aplicação do teste antes do desenvolvimento da unidade didática intencionou registrar, principalmente, os conhecimentos prévios dos estudantes (Anexo 1). Assim sendo, seguindo nosso objetivo de análise e comparações sob a

perspectiva qualitativa, optamos por aplicar o mesmo teste após o desenvolvimento da unidade didática, pois possibilitou perceber o acionamento, a mobilização e/ou a associação de um corpo de conhecimentos bioquímicos para resolução e (re)estruturação de novas respostas às questões. Em ambos os testes não foi permitida a consulta a nenhum material textual ou imagético.

O teste era composto por duas questões discursivas, a primeira abordou o metabolismo aeróbio mitocondrial a partir da interpretação de uma imagem/esquema parcial, e tinha como resposta esperada uma argumentação sobre a interação entre as moléculas reduzidas NADH (nicotinamida adenina dinucleotídeo) e FADH₂ (flavina adenina dinucleotídeo), formadas no ciclo de Krebs, o Complexo I (Complexo NADH-CoQ oxidorreductase) e o Complexo II (Complexo succinato-CoQ oxidorreductase) da cadeia transportadora de elétrons, respectivamente (Campbell; Farrel, 2008).

A segunda questão foi contextualizada a partir de uma nota científica sobre a mutação de um gene que promovia o acúmulo de glicogênio em músculo de suíno e tinha como resposta esperada uma discussão sobre o bloqueio da via de degradação do glicogênio (glicogenólise) muscular.

2.8 REGISTRO E ANÁLISE DE DADOS

Para registro e análise dos dados de modo qualitativo, utilizamos os textos elaborados pelos estudantes para responder as perguntas dos pré e pós-testes. Esses foram denominados como as sequências escritas e analisadas através da Análise Textual Discursiva (ATD) que deve ser compreendida como uma

[...] análise de informação de natureza qualitativa para produzir novas compreensões sobre textos e discursos. [...] Busca-se, com a ATD, o aprofundamento do pesquisador sobre o processo desconstrutivo chamado de unitarização, processo recursivo de mergulho nos sentidos atribuídos aos textos em análise. (Sousa; Galiuzzi, 2018, p. 800).

Consequentemente, optando por apresentar as sequências escritas na discussão do trabalho (Tabelas 1 e 2). Desse modo, no intuito de manter uma análise mais orgânica, possíveis erros gramaticais, ortográficos, semânticos etc., foram mantidos na íntegra para que pudessem refletir diferentes contextos e vivências. Utilizamos o código - Aluno(a)^{ano/semestre letivo} - para identificar os estudantes a partir do ingresso na Instituição de Ensino.

3 MOBILIZANDO E ARTICULANDO SABERES PRÉVIOS E NOVOS

Para auxiliar e organizar a análise apresentamos os resultados e a discussão em três seções. Na primeira evidencia-se principalmente o acionamento, a mobilização de conhecimentos prévios e sua (re)estruturação após o desenvolvimento da unidade didática. Na segunda, esses movimentos repetem-

se, mas destaca-se a proposição de concepções alternativas, ou seja, conhecimentos não esperados para a (re)construção das respostas. Na terceira seção nos propusemos a compreender a construção de processos de aprendizagem em uma sala de aula de bioquímica.

3.1 RESGATANDO E (RE)CONSTRUINDO CONHECIMENTOS ACERCA DO METABOLISMO AERÓBIO MITOCONDRIAL

A primeira questão tratou da apresentação parcial de um esquema que indicava a cadeia transportadora de elétrons e omitia o início de seu funcionamento, ou seja, a chegada de molécula reduzidas de NADH e de FADH₂ nos Complexos I e II da membrana interna mitocondrial, respectivamente. Aos estudantes foi solicitado que abordassem qual via estava sendo apresentada e quais estavam suprimidas para que construíssem uma discussão sobre a interconexão entre vias do metabolismo aeróbio mitocondrial – a glicólise, o Ciclo de Krebs e a cadeia transportadora de elétrons. Para auxiliar na análise e discussão, as sequências escritas construídas pelos estudantes no pré e no pós-teste foram apresentadas comparativamente na Tabela 1.

Quando analisadas as sequências escritas do pré-teste observamos que três estudantes tiveram dificuldades na identificação das vias representadas e suprimidas no esquema, afastando-se total ou parcialmente do que era solicitado na questão: a Aluna^{2021/1} não respondeu; a Aluna^{2019/2} sinalizou que o ciclo de Krebs estaria sendo apresentado no esquema (“Eu acho que a via metabólica representada é o ciclo de Krebs.”) e o Aluno^{2019/2} reconheceu apenas a organela citoplasmática (“mitocôndria”).

Tabela 1: Comparação entre as respostas da primeira questão do Pré e do Pós-teste. Temática: respiração aeróbica mitocondrial. Reposta esperada: interconexões entre a glicólise, o ciclo de Krebs e a cadeia transportadora de elétrons. Valença/RJ, 2024.

Aluno ^{2021/1}	<p>Pré-teste: A via aeróbia, porque a segunda estrutura está gerando elétrons para com H⁺ e O₂ formar água. Eu acho.</p> <p>Pós-teste: A via metabólica é a via glicolítica, mais precisamente a sua terceira fase, a cadeia transportadora de elétrons. A parte suprimida é composta da glicólise que a partir da molécula de glicose produz 2 piruvatos, 2 ATPs e 2 NADH e o ciclo de Krebs, que produz 2 ATPs, 6 NADH, 2 FADH, a partir dos 2 piruvatos produzidos na glicólise.</p>
Aluna ^{2021/1}	<p>Pré-teste: Em branco.</p> <p>Pós-teste: A via glicolítica, o esquema apresenta apenas a cadeia transportadora de elétrons, porém é inicialmente necessário que ocorra a glicólise e o ciclo de Krebs, para assim “ocasionar” essa cadeia.</p>
Aluna ^{2020/1}	<p>Pré-teste: A cadeia transportadora de elétrons ocorre na crista da mitocôndria e é a fase do ciclo de Krebs em que ocorre grande produção de ATP. Eu lembro que o NADH e FADH transportam alguma coisa para as proteínas da membrana interna (acho que é H⁺ e ATP).”</p> <p>Pós-teste: O esquema representa a cadeia transportadora de elétrons, que faz parte da via glicolítica. Nesta representação estão suprimidas as moléculas de NADH e FADH₂ que são as estruturas responsáveis por transportar os prótons H⁺ para os complexos de proteínas 1 e 2, respectivamente.</p>
Aluna ^{2019/2}	<p>Pré-teste: Eu acho que a via metabólica representada é o ciclo de Krebs.</p>

	Pós-teste: A via metabólica em questão é o ciclo de Krebs, a parte suprimida é a formação do NADH durante o processo do ciclo.
Aluno ^{2019/2}	Pré-teste: mitocôndria Pós-teste: Oxidação fosforilativa, ocorre a produção de ATP e H ₂ O.

Fonte: Dados da pesquisa.

De forma incerta e pouco estruturada, dois estudantes se aproximaram do esperado. O Aluno^{2021/1} indicou de forma mais assertiva a via bioquímica, mas não pontuou a parte suprimida do esquema (“A via aeróbia, porque a segunda estrutura está gerando elétrons para com H⁺ e O₂ formar água. Eu acho.”). A Aluna^{2020/1} propôs uma construção mais elaborada (“A cadeia transportadora de elétrons ocorre na crista da mitocôndria [...] Eu lembro que o NADH e FADH transportam alguma coisa para as proteínas da membrana interna (acho que é H⁺ e ATP).”), porém sugeriu o ciclo de Krebs como a via de maior produção energética (“[...] e é a fase do ciclo de Krebs em que ocorre grande produção de ATP. [...]”). Independentemente se as propostas se aproximam ou não do objetivo da atividade, esses movimentos iniciais remetem a uma busca ativa por um grupo ou mesmo de um “[...] conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos de um indivíduo, que permite dar significado ao novo conhecimento que lhe é apresentado [...]” (Moreira, 2011, p. 14). Ou seja, vislumbra-se a busca por saberes que podem estar correlacionados, ou terem alguma aproximação com o conhecimento bioquímico que foi requerido inicialmente (Sutton, 1996).

Entretanto, o contexto acima foi sendo alterado quando analisamos as sequências escritas referentes ao pós-teste. Registramos construções textuais mais elaboradas, estruturadas e com conexões bioquímicas mais bem pontuadas, como as realizadas pelos Aluno^{2021/1}, Aluna^{2021/1} e Aluna^{2020/1} que não só identificaram o metabolismo aeróbio mitocondrial como um todo, como associaram as vias suprimidas (glicólise e ciclo de Krebs) e as descreveram com mais detalhamento. Explicitaram, inclusive, a quantidade de molécula produzidas pela glicólise e pelo ciclo de Krebs como feito pelo Aluno^{2021/1} (“[...] A parte suprimida é composta da glicólise que a partir da molécula de glicose produz 2 piruvatos, 2 ATPs e 2 NADH e o ciclo de Krebs, que produz 2 ATPs, 6 NADH, 2 FADH, a partir dos 2 piruvatos produzidos na glicólise.”).

Outros dois exemplos interessantes dessa (re)estruturação textual referem-se à Aluna^{2019/2} que anteriormente havia identificado o esquema como sendo o ciclo de Krebs, aparentemente reelaborou sua resposta identificando-o agora como sendo a parte suprimida (“[...] a parte suprimida é a formação do NADH durante o processo do ciclo.”). Em contraste com a resposta simples dada no pré-teste, o Aluno^{2019/2} propôs uma construção textual um pouco mais estruturada e mais assertiva sobre a fosforilação oxidativa e sua produção energética mostrada no esquema (“Oxidação fosforilativa, ocorre a produção de ATP e H₂O.”). Por não ter acionado o docente durante a realização da atividade,

não ficou clara a razão dele não ter descrito e/ou indicado a via suprimida, se por esquecimento, desconhecimento e/ou incompreensão do enunciado.

Notamos, portanto, que readequaram o objeto de estudo ao proporem interconexões mais assertivas entre vias bioquímicas que inicialmente eram inexistentes ou fracamente associadas, desse modo, os estudantes conseguiram maior e melhor aproximação do objetivo da atividade, provavelmente, porque mobilizaram e relacionaram também os conhecimentos vivenciados na unidade didática (Moreira, 2011; Gámez; Ruz; López, 2015; Silveira; Rocha, 2016).

Semelhante para o que foi registrado nessa seção, o resgate, a (re)construção de conceitos e das conexões entre vias bioquímicas ficaram novamente evidentes na próxima seção, quando os estudantes, com auxílio da mediação docente, extrapolaram o que foi solicitado na questão sobre a glicogenólise muscular ao acionarem, associarem e utilizarem conhecimentos inesperados a respeito de vias bioquímicas, como concepções alternativas, deixando o objeto de estudo mais elaborado e complexo.

3.2 GLICOGÊNESE OU ‘GLICOGENÓLISE ANAERÓBIA’? QUANDO OS ESTUDANTES MOBILIZAM E ASSOCIAM CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

A segunda questão foi contextualizada a partir de uma pequena nota científica que abordava a mutação de um gene que promovia o acúmulo de glicogênio em músculo de suínos. Solicitamos aos estudantes que realizassem uma argumentação sobre a via bioquímica que estava sendo afetada pela mutação genética na intenção de discutirem sobre o bloqueio da via de degradação do glicogênio (glicogenólise) muscular. As sequências escritas do pré e do pós-teste também foram apresentadas comparativamente (Tabela 2).

Tabela 2: Comparação entre as respostas da segunda questão do Pré e do Pós-teste. Temática: metabolismo do glicogênio. Reposta esperada: abordagens sobre a glicogenólise muscular. Valença/RJ, 2024.

Aluno ^{2021/1}	<p>Pré-teste: A via anaeróbica, já que ao metabolismo pós-mortem não consome todo glicogênio que poderia consumir. Eu acho!</p> <p>Pós-teste: A via glicogenólise, a degradação dos estoques de glicogênio pela ação da glicogênio fosforilase. O glicogênio que está no músculo deveria funcionar como uma reserva e ser degradado a glicose-1-fosfato e depois a glicose-6-fosfato. Se o glicogênio está acumulando, esta via está sendo prejudicada. Uma outra alternativa é que a glicogênese pode estar super ativada. A glicogênese é uma via de síntese de glicogênio a partir da glicose, executada pela glicogênio-sintase. Uma disjunção poderia estar consumindo glicose na glicogênese, mesmo sem glicose em excesso, ocasionando excesso de glicogênio muscular.</p>
Aluna ^{2021/1}	<p>Pré-teste: Em branco</p> <p>Pós-teste: A via que pode estar sendo afetada é a da glicogênese que é a via responsável pela formação do glicogênio a ser armazenado; ou também a vida da glicogenólise que está relacionada a degradação do glicogênio. Ou seja esse gene pode estar provocando esse acúmulo de glicogênio por meio de uma grande produção deste onde o organismo não da</p>

	conta de degradá-lo ou então a produção de glicogênio armazenado é a mesma porem o gene afeta a via de degradação deste.
Aluna ^{2020/1}	Pré-teste: Os suínos têm elevada porcentagem de gordura no corpo, então eu acho que a via metabólica afetada é aquela que utiliza moléculas de lipídios para iniciar o ciclo (não sei o nome da via). Além disso, o glicogênio é uma molécula de açúcar muito grande, não sei se ela é quebrada até virar glicose, logo a via metabólica não poderia ser o ciclo de Krebs. Pós-teste: O glicogênio é sintetizado a partir da glicose que está em excesso no organismo. Assim, para que haja acúmulo de glicogênio, é possível que o gene mutado altere o funcionamento da via glicolítica e com isso a glicose que seria degradada na respiração aeróbica seja alternativamente convertida a glicogênio. Pode-se pensar também que o acúmulo do glicogênio é resultado da não degradação deste polissacarídeo. Assim, o gene RN pode ter afetado a via da glicogenólise.
Aluna ^{2019/2}	Pré-teste: Eu acho que a via afetada é o ciclo da glicose. Pós-teste: A via metabólica que pode está sendo afetada é a do DNA, pois uma vez modificado acaba desregulando seu funcionamento e o encaixe correto das suas feitas, o que pode ocasionar na criação de células que o corpo não reconhece e gerar uma desregularização generalizada de todas as outras vias metabólicas do corpo, podendo bloquear a passagem de oxigênio para o musculo e gerar a fermentação láctica, o que torna a qualidade da carne ruim.
Aluno ^{2019/2}	Pré-teste: Alguma via relacionada síntese de proteína. Pós-teste: Via glicogênese, cria um acúmulo de glicose no musculo impedindo que a glicose (G6P) entre no reticulo endoplasmático e não produzindo glicose que seguiria na corrente sanguínea.

Fonte: Dados da pesquisa.

Exceto pela Aluna^{2021/1} que novamente não fez proposta de texto, aparentemente por esquecimento da informação (mas que não ficou claro pois não houve manifestação/explicação de forma oral e/ou escrita pela estudante), os demais estudantes propuseram construções textuais distintas. Dois estudantes se afastaram do que era esperado na questão: o Aluno^{2019/2} apresentou uma construção que envolvia o metabolismo de proteínas (“Alguma via relacionada síntese de proteína.”); e o Aluno^{2021/1} sugeriu, sem certeza ou aprofundamento, o metabolismo anaeróbico do glicogênio (“A via anaeróbica, já que ao metabolismo pós-morte não consome todo glicogênio que poderia consumir. Eu acho!”). Por outro lado, duas alunas tangenciam a resposta que era esperada. No entanto, construíram suas abordagens também de modo incerto e sem maiores detalhamentos sobre a metabolismo solicitado – a glicogenólise muscular - (“Eu acho que a via afetada é o ciclo da glicose.” Aluna^{2020/1}; “[...] o glicogênio é uma molécula de açúcar muito grande, não sei se ela é quebrada até virar glicose, logo a via metabólica não poderia ser o ciclo de Krebs.” Aluna^{2019/2}).

Durante a realização e, posteriormente, na análise do pós-teste registramos dois aspectos importantes. No primeiro deles, também análogo ao registrado na primeira questão, foi possível perceber melhores amplitude e complexidade das respostas construídas após suas vivências na unidade didática. Como exemplos, a Aluna^{2021/1} que inicialmente não havia respondido o questionamento, construiu um texto mais abrangente conectando duas vias bioquímicas distintas. De modo semelhante, o Aluno^{2019/2} que havia se afastado do objetivo da questão, propôs uma construção textual mais assertiva. Contudo, esse aluno e outros três estudantes (Aluna^{2020/1}, Aluno^{2021/1} e

Aluna^{2021/1}), acionaram e adicionaram em suas respostas uma via bioquímica inesperada, mas bioquimicamente válida/viável. Essa mobilização de vias bioquímicas não esperadas caracterizou o segundo aspecto que passou a ser observado pelo docente no momento da realização do pós-teste.

De acordo com relato do docente, três estudantes (Aluna^{2020/1}, Aluno^{2021/1} e Aluna^{2021/1}) o acionaram durante a resolução da segunda questão indicando a possibilidade de abordá-la a partir de duas vias bioquímicas distintas: pelo bloqueio/não degradação do glicogênio muscular ou pelo acúmulo da glicose devido à sua não degradação pela via glicolítica. Em resposta, o docente mediu o questionamento dizendo que, havendo possibilidades bioquímicas, poderiam construir suas argumentações com múltiplas abordagens. Apesar de o objetivo da questão ser a construção de uma discussão sobre o bloqueio da glicogenólise muscular, o docente autorizou outras abordagens porque percebeu que os estudantes haviam extrapolado o enunciado e, aparentemente, de forma espontânea, autônoma e proativa (Leão; Kalhil, 2015), estavam mobilizando um corpo de conhecimento bioquímico mais amplo através de outras interconexões entre vias bioquímicas inesperadas (como concepções alternativas ao que foi solicitado), mas bioquimicamente válidas e/ou viáveis (glicogênese muscular) (Pietrocola, 2005; Figueira; Rocha, 2011).

Exemplificando, não só perceberam que se tratava de um bloqueio da glicogenólise muscular, como solicitado no enunciado da questão (“[...] Pode-se pensar também que o acúmulo do glicogênio é resultado da não degradação deste polissacarídeo. Assim, o gene RN pode ter afetado a via da glicogenólise.” Aluna^{2020/1}), como expandiram suas análises e encontraram uma segunda possibilidade – um acúmulo de glicose, oriundo da não degradação pela via glicolítica, estaria gerando um aumento da glicogênese muscular:

[...] é possível que o gene mutado altere o funcionamento da via glicolítica e com isso a glicose que seria degradada na respiração aeróbica seja alternativamente convertida a glicogênio.
(Aluna^{2020/1})

Via glicogênese, cria um acúmulo de glicose no musculo impedindo que a glicose (G6P) ente no reticulo endoplasmático e não produzindo glicose que seguiria na corrente sanguínea.
(Aluno^{2019/2})

Notamos, também que a ideia do metabolismo anaeróbio de degradação do glicogênio muscular novamente havia sido mobilizada e apresentada (“[...] e gerar uma desregularização generalizada de todas as outras vias metabólicas do corpo, podendo bloquear a passagem de oxigênio para o musculo e gerar a fermentação láctica, o que torna a qualidade da carne ruim.” Aluna^{2019/2} - grifo nosso). É relevante repontuar que, aparentemente, o metabolismo anaeróbio do glicogênio também foi acionado pelo Aluno^{2021/1} durante a realização do pré-teste (“A via anaeróbica, já que ao

metabolismo pós-mortem não consome todo glicogênio que poderia consumir. Eu acho!” Aluno^{2021/1} - pré-teste – grifo nosso), induzindo-o em algum grau a pensar em vias diferentes daquela solicitada na questão, possivelmente como outra concepção alternativa (Pietrocola, 2005; Figueira; Rocha, 2011), mas que não ficou claro pelo pouco detalhamento da resposta dada e por ter acionado o docente apenas no momento de realização do pós-teste, quando o questionou somente a respeito da possibilidade de abordagem sobre a glicogênese. Assim, o docente só percebeu a proposta desse estudante quando realizou a análise comparativa dos dados, ou seja, depois que os estudantes concluíram o pós-teste, impossibilitando alguma mediação durante a realização do pré-teste.

Entendendo a aprendizagem como um processo em construção entre estudantes, docente e objeto de estudo, na próxima seção nos propusemos a compreender como a mediação docente aliada à unidade didática propiciou o resgate dos conhecimentos prévios e sua relação com os novos conhecimentos bioquímicos que se pretendia trabalhar (Zabala, 1998; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2002). Percebemos também que, mesmo as proposições das vias bioquímicas inesperadas para a resolução da questão, tal como concepções alternativas, são movimentos válidos porque podem funcionar algumas vezes como ancoragem para novos contextos de aprendizagem (Moreira, 2011). Assim, novamente mediado pelo docente, a sala de aula poderá ser mais uma vez (re)construída como um espaço interativo, onde processos de (re)significação mais interessantes e proativos para os estudantes possam emergir.

3.3 COMPREENDENDO ALGUNS PROCESSOS DE APRENDIZAGEM EM UMA SALA DE AULA DE BIOQUÍMICA

Os resultados obtidos no pré e no pós-teste, representados aqui pelas sequências escritas, sugerem pensar que a unidade didática conseguiu alcançar seus objetivos educacionais conforme proposto por Zabala (1998). Uma vez estruturada e articulando as dimensões conceitual e contextual dos conhecimentos sobre metabolismo glicídico, processos de aprendizagem mais dinâmicos para a (re)significação do objeto de estudo puderam tomar forma em nossa sala de aula de bioquímica. Contudo, em um processo de aprendizagem sob a perspectiva da construção de significados, é esperado e compreensível que os estudantes apresentem lacunas, dificuldades ou mesmo o esquecimento de um dado corpo de conhecimento, pois a aprendizagem como processo de significação “[...] não é sinônimo de aprendizagem ‘correta’. [...] e não é aquela que nunca esquecemos.” (Moreira, 2011, p.24, grifo do autor).

Sob essa perspectiva, precisamos ponderar que estão imersos no curso de graduação há pelo menos três semestres, desse modo, aparentemente, trata-se de buscar alguns conhecimentos

bioquímicos supostamente aprendidos nas vivências, nas experiências anteriores. Assim, o resgate dos conhecimentos prévios e os movimentos que foram sendo realizados pelos estudantes para repensarem e readequarem o objeto de estudo foram se caracterizando como um processo de atribuir significados, novas construções, ou mesmo a escolha de um dentre alguns significados ou de algumas concepções alternativas, tal como subsunçores pré-existent na estrutura cognitiva dos estudantes (Moreira, 2011; Gámez; Ruz; López, 2015; Krause; Sheid, 2018).

A exemplo disso, na primeira questão, os estudantes podem estar acionando conhecimentos previamente trabalhados na disciplina Biologia Geral, cursada no primeiro semestre do curso, que tratou de forma detalhada a anatomia da mitocôndria e as vias bioquímicas envolvidas no metabolismo aeróbio mitocondrial, proposições estas que os aproximaram do objetivo da atividade. Na segunda questão, aparentemente, os mesmos movimentos de busca em outras disciplinas, fez emergir vias bioquímicas inesperadas como concepções alternativas, como feito pelos Aluna^{2020/1}, Aluno^{2021/1} e Aluna^{2021/1} com a glicogênese como uma via explicativa adicional, ou feito pelos Aluno^{2021/1} e Aluna^{2019/2} como o metabolismo anaeróbio do glicogênio como uma via alternativa para explicarem a mesma situação proposta.

Assim sendo, a proposição da glicogênese¹ pode estar relacionada ao fato de ter sido uma via bioquímica anabólica estudada de forma contextualizada e problematizada como era previsto na unidade didática (Zabala, 1998; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2002), o que deve ter gerado algum conforto em mobilizá-la, associá-la e adicioná-la em suas respostas. Consideramos que esses movimentos os aproximaram parcialmente do objetivo porque, supostamente, os estudantes fizeram uma associação simples, objetiva e direta com algum contexto fisiológico em que houve maior aporte de glicose sanguínea (após alimentação rica em carboidratos, por exemplo) que, não sendo utilizada para a glicólise, pode ser encaminhada para síntese de glicogênio muscular, tornando-a uma via bioquimicamente viável/válida, em especial, quando se pensa em um contexto de aumento, manutenção e/ou não utilização do glicogênio muscular

Por outro lado, intuímos que a proposição feita pelos Aluno^{2021/1} e Aluna^{2019/2} sobre o metabolismo anaeróbio do glicogênio como consequência da mutação gênica, pode estar relacionada ao fato de o enunciado também abordar a qualidade e produção de carne e seus derivados, que é uma

¹ Nota explicativa para melhor compreensão da glicogênese: por ação da insulina, quando a disponibilidade de glicose se torna alta e desnecessária como fonte energética para a glicólise, a célula muscular pode sintetizar glicogênio. Resumidamente, para iniciar o processo de síntese é necessário um primer composto por quatro resíduos de glicose ligados à proteína glicogenina. Deste ponto, a enzima glicogênio sintase catalisa reações entre moléculas de UDP-glicose (uridina difosfato glicose) e o glicogênio por meio de uma ligação $\alpha(1\rightarrow4)$ alongando a cadeia. A enzima ramificadora move porções com sete resíduos de glicoses da extremidade de uma cadeia crescente de modo que existam pontos de ramificação através de ligações $\alpha(1\rightarrow6)$, deixando a estrutura do glicogênio cada vez mais complexa e ramificada. (Campbell; Farrel, 2008, p. 596-598).

temática em que o conhecimento bioquímico está aplicado a um processo de produção e de melhoria de carnes e seus derivados e que é trabalhado no curso de graduação em questão (Matérias Primas de Origem Animal, 3º período, por exemplo). Vale esclarecer, portanto, que mesmo sendo uma via bioquimicamente viável/válida, nessas proposições o afastamento do objetivo proposto pelo docente ocorreu porque no metabolismo anaeróbio do glicogênio² estaria ocorrendo, por déficit de oxigênio, um processo catabólico na tentativa de manutenção da homeostase do tecido muscular esquelético, principalmente, em relação à produção e ao fornecimento de energia na forma de ATP (adenosina trifosfato) (Pardi et al., 2005; Pereda et al., 2005), e não um acúmulo de glicogênio como relatado no enunciado da questão.

A vista disso, é importante frisar que embora esses movimentos de (re)significação apareçam, algumas vezes, de forma incerta, fragmentada, que hora os afastaram e hora os aproximaram do que era esperado, foi possível perceber que não foram quaisquer conhecimentos, que não se trata de uma busca vazia ou isenta do que já existe, mas sim, o acionamento de um conjunto de conhecimentos com alguma relação mais próxima ao que foi solicitado, convergindo para um processo de atribuir significados (Sutton, 1996). Essa mobilização, (re)organização e associação entre conhecimentos preexistentes e novos se faz por “[...] um processo interativo no qual o novo ganha significados, se integra e se diferencia em relação ao que já existe [...]”, transformando-se em um conhecimento cada vez mais complexo e permitindo seu relacionamento com outros conhecimentos mais elaborados (Moreira, 2011, p. 26).

Considerando ainda a aprendizagem como um processo em construção, apesar de as proposições sobre a glicogênese muscular e do metabolismo anaeróbio do glicogênio terem sido um movimento que os distanciaram, parcial ou totalmente, do objetivo que o docente pretendia alcançar com a atividade, nota-se, por outro lado, que se apresentou uma nova oportunidade de aprendizagem e de (re)significação porque

Quando o sujeito atribui significados a um dado conhecimento, ancorando-o interativamente em conhecimentos prévios, a aprendizagem é significativa, independentemente de se estes são os aceitos no contexto de alguma matéria de ensino, i.e., de se os significados atribuídos são

² Nota contextualizada sobre o ‘metabolismo anaeróbio do glicogênio’: sob a perspectiva do curso de Engenharia de Alimentos, essa via metabólica localiza-se na área da ‘tecnologia de alimentos de origem animal’ e é estudada para melhoria da qualidade de produtos alimentícios - produção de carne e derivados - por exemplo. Assim sendo, no abate animal ocorre a falta de circulação sanguínea ocasionado pela sangria, o aporte de oxigênio para os tecidos cessa e as reservas de glicogênio muscular são utilizadas para gerar glicose e energia (ATP) pelo processo de glicólise anaeróbia para manter a homeostase do tecido muscular esquelético. Como consequência, haverá formação e acúmulo de ácido láctico muscular, diminuição do pH intracelular e interrupção no sistema de eliminação dos produtos oriundos do metabolismo celular. Dessa forma, ocorrem intensas modificações químicas e físicas (contração muscular irreversível e extensibilidade nula das fibras musculares) caracterizando o *rigor mortis* ou rigor cadavérico, ocasionando a transformação do músculo em carne ou a ‘mudança *post-mortem* do músculo’ (Pardi et al., 2005; Pereda et al., 2005).

também contextualmente aceitos, além de serem pessoalmente aceitos. As conhecidas concepções alternativas, tão pesquisadas na área de ciências, geralmente são aprendizagens significativas (e, por isso, tão resistentes à mudança conceitual). Por exemplo, se uma pessoa acredita que no verão estamos mais próximos do sol e no inverno mais distante, explicando assim as estações do ano, isso pode ser significativo para ela, embora não seja a explicação cientificamente aceita. (Moreira, 2011, p. 24, grifo do autor)

Entendemos que esse conhecimento ou esse subsunçor preexistente foi acionado e mobilizado, provavelmente, pelo caráter dinâmico e contextualizado trazido pelo modo como a unidade didática foi construída e aplicada. Contudo, não é um fator limitador em nosso processo de aprendizagem porque pode servir como uma ancoragem sob a qual o docente poderá, em momentos posteriores, desdobrar a mudança conceitual através da estruturação e do desenvolvimento de novas atividades teórico-práticas. Desse modo, auxiliando estudantes como a Aluna^{2019/2}, a Aluna^{2020/1}, o Aluno^{2021/1} e a Aluna^{2021/1} a repensarem e (re)construírem de forma mais assertiva a relação entre o conceito, o processo e o contexto em que ocorrem a glicogênese e, principalmente, o metabolismo anaeróbio do glicogênio (Leão; Kalhil, 2015; Krause; Sheid, 2018).

Reiteramos, mais uma vez, a importância do posicionamento e do movimento mediador realizado pelo docente quando autorizou, durante o pós-teste, que os estudantes utilizassem abordagens diversas (mesmo caracterizando concepções alternativas) para solucionar a segunda questão, pois percebeu que também emergia naquele momento, algumas ações de autonomia, de autoestima, e de um posicionamento crítico-reflexivo, para se posicionarem e indicarem um novo conjunto de conhecimentos bioquímicos para a (re)estruturarem de suas respostas (Zabala, 1998; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2002). Trata-se, portanto, da importância e da necessidade de um processo de mediação para a construção de significados na sala de aula - estudantes, docente e objeto de estudo em contexto interativo e construtivo - que culminou em novas (re)significações pelos estudantes deixando o objeto de estudo mais complexo. Os movimentos cognitivos entre o que o estudante já conhece e o que está sendo trabalhado em sala de aula, o conceito deixa de ser o elemento central, principal, e passa a envolver também a complexidade de um indivíduo que está no mundo e como se relaciona com esse (Machado; Orsolon-Souza, 2018).

Portanto, os movimentos realizados pelos estudantes de análise, a busca por semelhanças e diferenças e as propostas de interconexões entre vias bioquímicas distintas, através de um posicionamento propositivo para elucidar e readequar a relação entre conceitos e contextos, os aproximou de uma melhor e maior compreensão das vias bioquímicas em si e dos processos metabólicos, a expansão do aprendizado para outras habilidades como o desenvolvimento da linguagem escrita e, de modo geral, do pensamento analítico-associativo, como também, intrinsecamente, o desenvolvimento de atitudes e valores que compõem um variedade de competências

necessárias para o enfrentamento do mundo através de uma educação científica e cidadã (Gámez; Ruz; López, 2015; Krasilchick, 2016; Silveira; Rocha, 2016).

Por fim, esses movimentos de (re)construções e/ou de (re)significações realizadas pelos estudantes registradas aqui, podem estar refletindo diferentes formas como desenvolveram os modos de pensar, os modos de falar, os modos de fazer e, o mais importante, o potencial de associar todos esses aspectos com o intuito de ressignificarem, de darem forma ao objeto de estudo. Isso sugere refletir e considerar o pensamento, a linguagem e a experiência no Ensino de Bioquímica para a (re)estruturação de um processo de ensino-aprendizagem que considere a complexidade entre as dimensões conceitual e contextual dos conhecimentos científicos na Educação em Ciências (Arcà; Guidoni; Mazzoli; 1990).

4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM E A SALA DE AULA DE BIOQUÍMICA

Nossa proposta de compreensão de processos de aprendizagem em uma sala de aula de Bioquímica teve como objetivo registrar e verificar como os conhecimentos dos estudantes foram acionados antes e depois do desenvolvimento de uma unidade didática sobre metabolismo glicídico.

Após análise das sequências escritas foi possível perceber que os conhecimentos prévios são mobilizados pelos estudantes, explicitando e projetando, inclusive, algumas concepções alternativas, no intuito de darem forma ao objeto de estudo (Pietrocola, 2005; Figueira; Rocha, 2011; Leão; Kalhil, 2015; Krause; Sheid, 2018). Contudo, no primeiro momento, observamos no pré-teste que, mesmo que alguns conhecimentos já tivessem sido trabalhados em disciplinas anteriores, aparentemente há uma tendência a apresentarem lacunas no corpo de conhecimento trabalhado, esquecimento ou dificuldade na construção de conceitos e/ou de interconexões entre as principais vias bioquímicas solicitadas nas questões. O que é esperado e compreensível quando se investe em processos de aprendizagem a partir da construção dos significados (Moreira, 2011).

No entanto, após o desenvolvimento da unidade didática em que os conteúdos básico/fundamentais foram expostos e trabalhados através de diferentes materiais didáticos e de atividades teórico-práticas, o pós-teste indicou que, aparentemente, as lacunas foram preenchidas e esses esquecimentos/dificuldades provavelmente foram sendo superados à medida que os estudantes foram acionando e mobilizando um corpo de conhecimento maior, mais específico e amplo, realizado em um contexto mediado, (re)construtivo, dando nova forma e estrutura às respostas apresentadas. Assim, entendemos que tais limitações tendem a ser superadas quando os estudantes vão se habituando com os símbolos e com a linguagem de caráter científico e bioquímico, tais como os presentes em

livros e materiais didáticos diversos (Krasilchik, 2016). Da mesma forma, as concepções alternativas podem surgir e serem projetadas nas respostas. Posteriormente, servem como ancoragem para que novos contextos interativos se estabeleçam na sala de aula, a (re)construção dos significados e a mudança conceitual possam ocorrer de modo assertivo e satisfatório (Figueira; Rocha, 2011; Moreira, 2011; Leão; Kalhil, 2015; Krause; Sheid, 2018).

Assim, para que contexto mais interessantes de aprendizagem tomem forma na sala de aula, reafirmamos que as unidades didáticas precisam ser construídas de forma estruturada, motivadoras do processo de ensino-aprendizagem, que os saberes prévios e novos possam ser relacionados pelos estudantes e que aspectos sobre autoestima e autonomia também possam ser desenvolvidos. Para tanto, reiteramos a relevância de uma sala de aula como um espaço dialógico e da mediação docente para o desenvolvimento de um processo de aprendizagem significativo, no qual outras habilidades e competências de natureza cognitiva possam ser exploradas e ampliadas para uma interpretação e compreensão de mundo também mais assertiva e abrangente. Igualmente relevante, as unidades didáticas podem e devem sofrer ajustes de acordo com alguma especificidade de contextos e/ou de currículos (Zabala, 1998; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2002).

Por fim, para sanar novas inquietações e diminuir ainda mais a percepção sobre conteúdos e/ou sobre disciplinas tidas como de maior dificuldade de aprendizagem, sugerimos que o processo de ensino-aprendizagem em Bioquímica deve considerar também outras abordagens não observadas e trabalhadas aqui, tais como, simulações (digitais ou não), processos investigativos e experimentações, dentro de um contexto dialógico, mediado e de construção de significados, a fim de promover uma aprendizagem cada vez mais profunda dos saberes bioquímicos e da integração entre vias bioquímicas diversas (Albuquerque et al., 2012; Farkuh; Pereira-Leite, 2014; Cavalcante et al., 2023). Dessa forma, recomendamos repensar e reconsiderar as condições específicas que se apresentam em uma sala de aula de Bioquímica no intuito de construir significados de ordens científica, tecnológica e bioquímica mais abrangentes (Machado; Orsolon-Souza, 2018).

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. A. C.; AMORIM, Â. H. C.; ROCHA, J. R. C. F.; SILVEIRA, L. de M. F. G.; NERI, D. F. de M. Bioquímica como Sinônimo de Ensino, Pesquisa e Extensão: um Relato de Experiência. *Revista Brasileira de Educação Médica*, v. 36, n. 1, p. 137-142. 2012.
- ARCÀ, M.; GUIDONI, P.; MAZZOLI, P. Enseñar Ciencia - como empezar: reflexiones para una educación de base. Barcelona/Buenos Aires: Paidós, 1990.
- ARANTES, E. (2021, março 24). Controle glicêmico através da atividade física: é possível? [página da web]. Recuperado de <https://beecorp.com.br/controle-glicemico-atraves-da-atividade-fisica-e-possivel/>
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto, Lisboa: Porto Editora, 2010.
- CAMPBELL, M. K.; FARREL, S. O. Bioquímica: volume 3: bioquímica metabólica. 5ª edição. São Paulo: Thompson Learning, 2008.
- CAVALCANTE, F.; FONSECA, C.; LUZ, E.; RAMOS, L.; SILVA, L.; SOARES, L.; LIMA, M. E.; ALBUQUERQUE, P.; ALBUQUERQUE, P. Métodos ativos, experiência laboratorial e correlações clínicas articuladas ao aprendizado da Bioquímica: inovando o método de ensino na Universidade de Pernambuco Campus Garanhuns. *Revista de Ensino de Bioquímica*, v. 21, n.1, p. 1-16. 2023. DOI: <https://doi.org/1016923/reb.v21i1.1016>
- COLL, C. Aprendizagem escolar e construção do conhecimento. Porto Alegre: Penso, 1994.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. Ensino de ciências: fundamentos e métodos. São Paulo: Cortez, 2002.
- FARKUH, L.; PEREIRA-LEITE, C. Bioquim4x: um jogo didático para rever conceitos de bioquímica. *Revista de Ensino de Bioquímica*, v. 12, n. 2, p. 37-54, 2014.
- FELICETTI, S. A.; BATISTA, I. de L. Educação Inclusiva, Interdisciplinaridade E Teoria Da Aprendizagem Significativa: formação docente em Biologia. *Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar*, v. 9, n. 30, 2023. DOI: 10.21920/recei72023930398413.
- FIGUEIRA, A. C. M.; ROCHA, J. B. T. Investigando as concepções dos estudantes do ensino fundamental ao superior sobre ácidos e bases. *Revista Ciências & Ideias*, v. 3. n. 1, p. 1-21, 2011.
- GÁMEZ, C. M.; RUZ, T. P.; LÓPEZ, M. A. J. Tendencias del profesorado de ciencias en formación inicial sobre las estrategias metodológicas en la enseñanza de las ciencias. Estudio de un caso en Málaga. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 33, n. 1, p. 167-184, 2015.
- GERHARDT, I. (2000, novembro 06). Estudo relaciona uso de pesticida a sintomas de mal de Parkinson. [página da web]. Recuperado de <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe0611200003.htm>

KRASILCHIK, M. Prática de Ensino de Biologia. 4ª edição revisada e ampliada, 5ª reimpressão. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2016.

KRAUSE, J. C.; SHEID, N. M. J. Concepções alternativas sobre conceitos básicos de física de estudantes ingressantes em curso superior da área tecnológica: um estudo comparativo. Espaço Pedagógico, v. 25, n. 2, p. 227-240, 2018.

LEÃO, N. M. de M.; KALHIL, J. B. Concepções alternativas e os conceitos científicos: uma contribuição para o ensino de ciências. Latin-American Journal of Physics Education, v. 9, n. 4, p. 4601-1 - 4601-3, 2015.

LOGUERCIO, R.; SOUZA, D.; DEL PINO, J. C. Mapeando a educação em bioquímica no Brasil. Ciências; Cognição, v. 10, p. 147-155, 2007.

MACHADO, L. C. F.; ORSOLON-SOUZA, G. Das inquietações às questões... aprendizagem e ensino de Biologia nas escolas. Latin American Journal of Science Education, v. 5, p. 1-9, 2018.

MINAYO, M. C. de S. O desafio da pesquisa social. In: MINAYO, M. C. de S. (org.). Pesquisa Social. Teoria, Método e criatividade. 16. ed. Petrópolis: Vozes. 2009. p. 09-29.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro "Física". Ciência e Educação. v. 20, n. 3, p. 617-638, 2014.

OLIVEIRA, T. M. R. de; AMARAL, L. H.; AMARAL, C. L. C. A prática pedagógica reflexiva em questão: Estudo de caso de uma escola brasileira. Revista Portuguesa de Educação, v. 36, n. 2, p. 1-20, e23027, 2023. DOI: <http://doi.org/10.21814/rpe.24860>

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F. dos; SOUZA, E. R. de; PARDI, H. S. Ciência, higiene e tecnologia da carne. 2 ed. Goiânia: Editora da UFG, 2005.

PIETROCOLA, M. Ensino de Física: Conteúdo, Metodologia e Epistemologia em Uma Concepção Integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

PEREDA, J. A. O., RODRÍGUEZ, M. I. C., ÁLVAREZ, L. F., SANZ, M. L. G., MINGUILLÓN, G. D. G. de F., PERALES, L. de la H., e CORTECERO, M. D. S. Tecnologia de alimentos. Alimentos de origem animal, v. 2. Porto Alegre: ARTMED, 2005.

SABINO, G.; AMARAL, F. C.; SABINO, C. de V. S.; KATTAH, L. R. Proposta de uma metodologia para o ensino da estrutura e função das proteínas na disciplina bioquímica. Revista de Ensino de Bioquímica, n. 1, p. 1-19, 2009. DOI: <https://doi.org/10.16923/reb.v7i1.37>

SCATIGNO, A. C.; TORRES, B. B. Diagnósticos e intervenções no Ensino de Bioquímica. Revista de Ensino de Bioquímica, v. 24, p. 29-51, 2016.

SCHIMIDT, D. B.; HEGGENDORNN, L. H.; PEREIRA, H. S.; VIEIRA, V.; AGUIAR-ALVES, F. Mapas conceituais no ensino de bioquímica, uma integração entre os conceitos científicos. Revista de Ensino de Bioquímica, v. 12, p. 7-23, 2014.

SILVEIRA, J. T.; ROCHA, J. B. T. da. Produção científica sobre estratégias didáticas utilizadas no ensino de Bioquímica: uma revisão sistemática. Revista de Ensino de Bioquímica, v. 14, n. 1, p. 7-21, 2016.

SOUSA, R. S. de; GALIAZZI, M. do C. O jogo da compreensão na análise textual discursiva em pesquisas na educação em ciências: revisitando quebra-cabeças e mosaicos. Revista Ciência; Educação, v. 24, n. 3, p. 799-814, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1516-731320180030016>.

SUTTON, J. Words, Science and Learning. Philadelphia: Open University Press. 1996.

UEL/COPS-Coordenadoria de Processos seletivos (n.d.). Universidade Estadual de Londrina, Coordenadoria de Processos seletivos [página da web]. Recuperado de <https://www.cops.uel.br/>

Vestibular Brasil Escola (n.d.). Vestibular Brasil Escola [página da web]. Recuperado de <https://vestibular.brasilecola.uol.com.br/>

VÍCTORA, C. G.; KNAUTH, D. R.; HASSEN, M. de N. A. Pesquisa qualitativa em saúde: uma introdução ao tema. Porto Alegre: Tomo editorial, 2000.

ZABALA, A. Prática educativa: como ensinar. Porto Alegre: ARTMED, 1998.