CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

A PROGRESSÃO DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE BIOQUÍMICA FUNDAMENTADO EM MODELAGEM NO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO

Frederico Pegoraro Fernandes Pereira

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Orientador(a): Juliana Machado

Rio de Janeiro
Maio de 2025

A PROGRESSÃO DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE BIOQUÍMICA FUNDAMENTADO EM MODELAGEM NO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em fevereiro de 2025, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Frederico Pegoraro Fernandes Pereira

Banca Examinadora:

_____

Presidente, Professora Dra. Juliana Machado (CEFET/RJ) (orientador)

_____

Professor Dr. Marco Antonio Barbosa Braga (CEFET/RJ)

_____

Professora Dra. Nilmara Mozzer (UFOP)

_____

Professor Dr. Ailton José Vinholi Júnior (IFMS)

Rio de Janeiro
Maio de 202

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

P436 Pereira, Frederico Pegoraro Fernandes
A progressão da aprendizagem no ensino de bioquímica fundamentado em modelagem no 1º ano do ensino médio / Frederico Pegoraro Fernandes Pereira. — 2025.
146f. : il. color. , enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2025.
Bibliografia : f. 136-146
Orientadora: Juliana Machado

1. Biologia (Segundo grau) - Estudo e ensino. 2. Modelagem. 3. Aprendizagem. 4. Análise de conteúdo (Comunicação). I. Machado, Juliana. (Orient.). II. Título.

CDD 574.07

Elaborada pela bibliotecária Tania Mello – CRB/7 nº 5507/04

Com amor, dedico à minha família.

RESUMO

CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM À PROGRESSÃO DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE BIOLOGIA NO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO

Visando discutir as contribuições do Ensino Fundamentado em Modelagem para o Ensino de Biologia, este estudo buscou identificar as etapas da Progressão da Aprendizagem expressas por estudantes do 1º ano do Ensino Médio durante uma sequência didática realizada ao longo de um trimestre letivo em uma escola particular da cidade do Rio de Janeiro. A sequência ocorreu em encontros presenciais durante aulas teóricas e aulas de laboratório. As atividades foram realizadas em grupos de até 6 estudantes em uma turma de 32 indivíduos. Cada atividade contou com um roteiro específico com perguntas e instruções que conduziram os alunos por discussões coletivas, mas registrando individualmente suas respostas. Os registros escritos nos roteiros foram submetidos à análise de conteúdo ao que se somaram gravações de áudio das discussões realizadas coletivamente pelos alunos. Também foram analisados os produtos de conhecimento (modelos) construídos pelos estudantes. Os resultados indicaram que a modelagem favoreceu a compreensão sobre a natureza do conhecimento científico e conceitos biológicos, contando com participação ativa dos alunos, que expressaram diferentes níveis de compreensão sobre modelos e modelagem. O estudo contribui para o campo dos modelos na educação científica e biológica, destacando o potencial da modelagem como estratégia pedagógica para promover a aprendizagem significativa e o desenvolvimento do pensamento crítico. Além disso, reforça a importância de práticas educativas que valorizem a construção coletiva e o registro individual, proporcionando um olhar mais aprofundado sobre o progresso dos estudantes.

Palavras-chave: Modelos, Ensino Fundamentado em Modelagem, Ensino de Biologia, Progressão da Aprendizagem, Análise de Conteúdo.

ABSTRACT

CONTRIBUTIONS OF MODELING-BASED TEACHING TO THE PROGRESSION OF LEARNING IN BIOLOGY TEACHING IN THE 1ST YEAR OF HIGH SCHOOL

Aiming to discuss the contributions of Modeling-Based Teaching to Biology Teaching, this study sought to identify the stages of Learning Progression expressed by 1st-year high school students during a didactic sequence carried out over a semester in a private school in the city of Rio de Janeiro. The sequence occurred in face-to-face meetings during theoretical and laboratory classes. The activities were carried out in groups of up to 6 students in a class of 32 individuals. Each activity had a specific script with questions and instructions that led the students through collective discussions, but recorded their answers individually. The written records in the scripts were subjected to content analysis, to which audio recordings of the discussions carried out collectively by the students were added. The knowledge products (models) constructed by the students were also analyzed. The results indicated that modeling favored the understanding of the nature of scientific knowledge and biological concepts, with active participation of the students, who expressed different levels of understanding about models and modeling. The study contributes to the field of models in science and biological education, highlighting the potential of modeling as a pedagogical strategy to promote meaningful learning and the development of critical thinking. In addition, it reinforces the importance of educational practices that value collective construction and individual recording, providing a more in-depth look at student progress.

Keywords: Models, Modeling-Based Teaching, Biology Teaching, Learning Progression, Content Analysis.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CONEP	Comissão Nacional de Ética em Pesquisa
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
D1	Dimensão 1
D2	Dimensão 2
EF	Ensino Fundamental
EFM	Ensino Fundamentado em Modelagem
EIP	Epistemologias na Prática
EM	Ensino Médio
LDB	Lei de Diretrizes e Bases
LP	Progressão da Aprendizagem
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PPCTE	Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação
RJ	Rio de Janeiro
RNA	Ácido Ribonucleico
RNAm	RNA-mensageiro
RNAr	RNA-ribossomal
RNAt	RNA-transportador
TAI	Termo de Autorização Institucional
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TDIC	Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

Preâmbulo **9**

Introdução **11**

1 – Fundamentação teórica e revisão da literatura **20**

1.1 Sobre modelos e modelagem 20
1.2 Epistemologias na prática 28
1.3 A progressão da Aprendizagem 30
1.4 A experimentação e o EFM 36
1.5 Uma breve revisão sobre os modelos e EFM 39
1.5.1 Resultados da pesquisa bibliográfica 40
1.5.2 Organizando a bibliografia encontrada 43

2 – Metodologia da pesquisa **47**

2.1 Questão de pesquisa 47
2.2 Abordagem metodológica 47
2.3 Contexto da pesquisa e dos participantes 48
2.4 Aspectos éticos da pesquisa 50
2.5 Procedimento de coleta de dados 51
2.6 Análise dos dados 52
2.7 Descrição das atividades 61

3 – Resultados e discussão **69**

3.1 Atividades 69
3.1.A Atividade 1 – Modelos 69
3.1.B Atividade 2 – Modelagem 74
3.1.C Atividade 3 – Analogias 82
3.1.D Atividade 4 – Síntese proteica 82
3.1.E Atividade 5 – *Neurospora crassa* 94
3.1.F Atividade 6 – Refletindo sobre modelos 115
3.1.G Refletindo sobre os resultados 126

4 – Conclusões e considerações finais **131**

Referências bibliográficas **136**

Preâmbulo

Sou licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ – Maracanã). Minha trajetória como docente se iniciou nas salas lotadas dos cursos pré-vestibulares. Minha missão, à época, como professor de Biologia, era revisar e explicar todo o conteúdo da disciplina estudado (ou não) durante o Ensino Fundamental (EF) e Ensino Médio (EM). Além de desenvolver a organização e didática para a clara, simples e rápida exposição de ideias, que contribuísse para que os estudantes acumulassem grande quantidade de conceitos e conteúdos por unidade de tempo, eu exercitei a Biologia em si. Foi um dos momentos de maior construção de conhecimento para mim, que de forma intensa estudava constantemente o que ensinava. E quanto mais ensinava, mais aprendia.

Então, das salas de pré-vestibular eu cheguei às escolas e muito da minha percepção acerca do processo de ensino e aprendizagem mudou. Lecionei para crianças, do 6º ao 9º ano do EF. Lecionei para o EM que, apesar de envolver o mesmo conteúdo do pré-vestibular, era o primeiro contato dos estudantes com a complexa Biologia. E, para tornar a experiência ainda mais rica, lecionei aulas práticas, aulas no laboratório. Tive, portanto, oportunidade de lecionar em todos os anos do EF e do EM, sequencial e simultaneamente.

Como professor de turmas regulares em escolas, com mais tempo para o desenvolvimento dos conceitos e ideias do que no pré-vestibular, eu não precisava correr com o conteúdo, não precisava fazer malabarismos para que os estudantes compreendessem algo. Comecei a descobrir o poder da construção de conhecimento. E, em minha experiência, a diversificação de estímulos oferecida aos estudantes foi o que mais trouxe benefícios de aprendizado. Aulas expositivas são importantes, mas só exposição de conteúdo é deixar fichas na mesa.

Assim, com o passar dos anos, não só minha compreensão da Biologia foi se tornando mais profunda, como também minha visão sobre o ato de ensinar se complexificou. Mergulhei na criação de jornadas de aprendizagem para aqueles que eu acompanhava desde os 10 ou 11 anos de idade até seus 17 ou 18. Imerso num trabalho sem pressa, percebi que muito da Biologia, da Química, da Física e da Matemática envolvia o trabalho com modelos. Na Biologia a palavra “modelo” aparece várias vezes. Todos estudaram o “modelo de célula animal”, o “modelo de célula vegetal”, o “modelo do DNA”. Mas, não é porque a palavra “modelo” esteja na rotina das aulas de Ciências Biológicas que de fato o trabalho envolva a epistemologia dos

modelos e da modelagem.

Durante as “aulas teóricas”, eu lecionava, principalmente, expositivamente. Quando no laboratório, eu lecionava por meio de roteiros, que eram pensados principalmente com o intuito de ilustração daquilo que minhas turmas viam durante as aulas teóricas. Eu, portanto, ainda tinha uma visão limitada do processo de ensino e aprendizagem em Ciências. Apesar de naturalmente buscar caminhos mais construtivistas e de usar modelos, eu não compreendia esse universo e sua densa relação com o fazer científico com a educação em Ciências. Isso mudou durante meus estudos no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia e Educação (PPCTE), do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ). No CEFET, especificamente na disciplina “Contribuições da epistemologia ao Ensino de Ciências”, tive o feliz encontro com minha orientadora, Profa. Dra. Juliana Machado, e com o campo de estudos dos modelos e do Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM). Percebi que muito do que eu fazia de forma instintiva já havia sido estudado, organizado e transformado em metodologia, constituindo fecundo campo de pesquisa. Entendi que precisava mergulhar no campo.

O que move minha prática pedagógica hoje é: entendo que não exista aula de Biologia sem modelos. Sempre estamos trabalhando algum modelo com nossos estudantes. Trabalhar modelos não é a mesma coisa que trabalhar modelagem e ambos possuem grande relação com a educação em Ciências. A modelagem, como processo ativo, coloca os estudantes no centro do processo de ensino e aprendizagem e exibe grande potencial frente aos desafios modernos da educação.

Introdução

Carl Sagan, importante divulgador da Ciência, destaca em sua famosa obra "Cosmos" uma interessante visão sobre a natureza da Ciência:

> "(...) a ciência é um processo contínuo. Nunca termina. Não existe uma única e definitiva verdade a ser alcançada, após a qual todos os cientistas poderão se aposentar. E, por ser assim, o mundo é muito mais interessante, tanto para os cientistas quanto para os milhões de pessoas em cada nação que, conquanto não sejam cientistas profissionais, estão profundamente interessados nos métodos e nos achados da ciência." (SAGAN, 2018, p. 25)

De forma mais específica, Silva *et al.* (2021) e Bunge (1970) destacam que o conhecimento científico consistiria em um conjunto de ideias desenvolvidas para explicar tanto os fenômenos naturais quanto os observados de forma experimental e cuja explicação se dá por meio da formulação de conceitos chamados de científicos, através de teorias. Tais conceitos seriam representações abstratas da realidade e não a realidade em si, podendo seu significado sofrer mudanças com o passar do tempo e com o desenvolvimento da Ciência (SILVA *et al.* 2021; BUNGE, 1970).

Para Gilbert e Justi (2016), a Ciência é considerada um empreendimento humano que não pode ser ignorado e sobre o qual todos os cidadãos deveriam ter algum conhecimento sobre. Eles destacam que desde 1980 a educação científica vem sofrendo uma gradual mudança no sentido de uma maior preocupação com o entendimento da Ciência, mas também de seu papel na sociedade (JUSTI; GILBERT, 1998). Gilbert (2004) destaca que muitos países buscam fortalecer suas economias valorizando a oferta de educação científica acessível a todos os cidadãos, tanto durante a escolaridade quanto ao longo da vida. Apesar disso, parece existir um consenso de que a educação científica enfrenta desafios significativos, principalmente diante da forma como se ensina Ciência. Para o autor, o Ensino de Ciências exige larga esfera de conhecimentos com considerável profundidade de compreensão, o que nem sempre é garantido pela estrutura modular encontrada nas universidades (GILBERT, 2004; GILBERT; JUSTI, 2016).

Nesse contexto, Gilbert e Justi (2016) destacam que em muitas localidades, o currículo escolar de ciências é considerado inchado, exibindo grande quantidade de conteúdos, que se dividem entre fenômenos, fatos individuais, teorias e conceitos, aos quais são constantemente acrescidas novas informações, produto dos avanços da Ciência, sem que muito seja removido. Mesmo com a densa carga de informações, o

conteúdo é visto e trabalhado de maneira fragmentada, o que torna o processo de ensino-aprendizagem não significativo para muitos estudantes, sendo inclusive distante de sua realidade. Os autores afirmam ainda que essa situação não contribui para o desenvolvimento da literacia científica dos educandos, que é fundamental por reunir em si ideias sobre a Natureza da Ciência, a natureza da tecnologia, a relação entre elas e a capacidade de interpretar textos, sejam eles escritos, falados ou em outras formas de representação.

É importante destacar que optaremos por utilizar neste trabalho a expressão “letramento científico” ao invés de “literacia científica”, pois reconhecemos a polissemia dessa expressão (Silva; Sasseron, 2021). Para as autoras, o letramento científico engloba o caráter social no uso dos conhecimentos científicos, envolvendo nas aulas temáticas que trabalhem com os estudantes a análise críticas de situações conflituosas e controversas que envolvem a abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) (Silva; Sasseron, 2021).

Segundo a Base Nacional Comum Curricular (2018), nas sociedades contemporâneas, a Ciência e a Tecnologia influenciam amplamente nosso modo de vida, seja na produção de alimentos, na rede de transportes, nas telecomunicações e internet, passando por dispositivos médicos e biotecnologia, abordando também questões globais, como mudanças climáticas e energia nuclear, sendo vistas tanto como soluções para problemas quanto como novas perspectivas sobre o mundo (BRASIL, 2018). Contudo, poucas pessoas utilizam conhecimentos científicos para resolver problemas diários, o que reforça a necessidade de a Educação Básica, especialmente na área de Ciências da Natureza, promover o letramento científico da população (BRASIL, 2018). Além disso, é importante destacar que estudar Ciências da Natureza envolve mais do que apenas absorver conteúdos conceituais, sendo fundamental o desenvolvimento de competências e habilidades pelos estudantes a fim de que expandam e organizem suas aprendizagens essenciais de modo que conhecimentos conceituais não estejam destacados de sua contextualização social, cultural, ambiental e histórica, além de práticas investigativas e linguagens específicas (BRASIL, 2018).

A disciplina Biologia, junto da Física e Química, faz parte da área “Ciências da Natureza e suas Tecnologias” dentro da BNCC. Ela pode ser extremamente envolvente ou parecer irrelevante para os alunos, dependendo do conteúdo ensinado e da maneira como ele é apresentado (KRASILCHIK, 2011). Soma-se a isso o

conceito de alfabetização biológica, há muito discutido entre educadores, fundamental ao contínuo desenvolvimento de conhecimentos essenciais para todos os indivíduos nas sociedades contemporâneas (KRASILCHIK, 2011).

A alfabetização biológica faz parte do letramento científico destacado na BNCC e, segundo Krasilchick (2011), envolve quatro níveis em um de seus modelos conceituais: nominal – termos memorizados corretamente, mas sem compreensão de significado; funcional – os termos são memorizados, mas não têm seu significado claro para o(a) estudante; estrutural – o(a) estudante consegue explicar conceitos com base em suas experiências pessoais e conceitos biológicos e multidimensional – quando há a união e interação de conceitos e habilidades desenvolvidas permitindo que o(a) estudante atue em problemas reais.

Segundo a BNCC (BRASIL, 2018), na área de Ciências da Natureza os conhecimentos são organizados em leis, teorias e modelos, e a criação, interpretação e aplicação de modelos explicativos para fenômenos naturais e sistemas tecnológicos são essenciais ao fazer científico. Contudo, mesmo que no Ensino Médio o desenvolvimento do pensamento científico foque em aprendizagens específicas para aplicação em diferentes contextos, o ensino de Biologia ainda hoje ocorre de forma predominantemente descritiva, com excesso de terminologias e pouca análise das estruturas funcionais, reforçando um ensino teórico enciclopédico, que promove a passividade, exacerbado pelos exames vestibulares, que demandam conhecimentos fragmentados e irrelevantes, focando nos níveis nominal e funcional anteriormente destacados (KRASILCHIK, 2011).

Especificamente para a área de Ciências da Natureza, a BNCC destaca três competências específicas que os estudantes precisam desenvolver ao longo do Ensino Médio:

> 1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global. 2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. 3. Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar

> suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BRASIL, 2018, p. 553).

É relevante destacar que não abordaremos neste trabalho a profunda e complexa discussão política e pedagógica que envolve a concepção da BNCC, principalmente o modelo de competências e habilidades apresentado por ela. Destacamos, no entanto, que existem críticas da comunidade acadêmica e escolar ao uso do que se conhece como “pedagogia das competências” nos currículos pelo fato de existirem outras formas possíveis de organização curricular e que a própria delimitação do conceito de competências é diversa (Rodrigues; Pereira; Mohr, 2020). No entanto, concordamos parcialmente com a visão de Rodrigues *et al.* 2020, que criticam o processo de uniformização curricular para o cenário educacional brasileiro.

Assim, as três competências destacadas para a área de Ciências da Natureza se dividem em vinte e seis habilidades totais: sete habilidades para a competência um, nove habilidades para a competência dois e dez habilidades para a competência três. Dessas, quinze se relacionam com o campo dos modelos e da modelagem e podem ser divididas entre aquelas que citam diretamente modelos em seu texto (Grupo 1) e aquelas em que, apesar de não se identificar a palavra “modelos” no texto, vê-se elementos que se relacionam direta ou indiretamente com o campo (Grupo 2).

Quadro 1 – Grupos de habilidades da BNCC relacionadas ao campo dos modelos

Grupo	Descrição	Número de habilidades	Habilidade
1	Habilidades com citação direta dos modelos no texto.	3	EM13CNT201; EM13CNT209; EM13CNT301.
2	Habilidades cuja descrição permite identificação de relação direta ou indireta com o campo.	12	EM13CNT102; EM13CNT106; EM13CNT107; EM13CNT203; EM13CNT204; EM13CNT205; EM13CNT208; EM13CNT302; EM14CNT304; EM13CNT306; EM13CNT307; EM13CNT308.

Fonte: BRASIL, 2018, produção nossa.

Como mostrado no Quadro 1, o primeiro grupo é representado por três habilidades. A habilidade EM13CNT201 prevê que o aluno seja capaz de "*Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente*." (BRASIL, 2018, p. 557). Já a habilidade EM13CNT209 envolve o estudante ser capaz de "*Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo(...)*" (BRASIL, 2018, p. 557). Por fim, a habilidade EM13CNT301 descreve que o aluno deve ser capaz de:

> "... construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica" (BRASIL, 2018, p. 559).

Para descrição do segundo grupo, que compreende doze habilidades, há o Quadro 2, que identifica o tipo de relação que o texto da habilidade exibe com o campo dos modelos.

Quadro 2 – Grupo 2: habilidades que se relacionam direta ou indiretamente com campo dos modelos e da modelagem

Habilidade	Descrição da relação com o campo
EM13CNT102	Se encaixa no campo pela construção de protótipos e a realização de previsões.
EM13CNT106	Para tudo o que é exposto em seu texto, a modelagem é uma estratégia de atuação possível.
EM13CNT107	Aborda em seu texto as previsões, que são características do trabalho com modelos científicos. Todos os produtos e tecnologias apresentados em seu texto envolvem modelos.
EM13CNT203	Aborda em seu texto avaliação e previsão, que são características do trabalho com modelos científicos.
EM13CNT204	Destaca em seu texto a elaboração de explicações, previsões e cálculos, característicos do trabalho com modelos científicos.
EM13CNT205	Aborda interpretação de resultados e realização de

	previsões sobre atividades experimentais, além de destacar a importância do reconhecimento dos limites da ciência, características do trabalho com modelos científicos.
EM13CNT208	Se relacionam com o campo, uma vez que tudo o que é citado em seu texto envolve ou envolveu uso de modelos e modelagem.
EM14CNT304	
EM13CNT302	A comunicação é parte muito importante do processo de modelagem e muitas das etapas descritas em seu texto se relacionam a processos que pertencem à modelagem.
EM13CNT306	Habilidades que podem ser bem desenvolvidas com uso de modelos e modelagem como estratégia de ensino.
EM13CNT307	
EM13CNT308	

Fonte: BRASIL, 2018, produção nossa.

A presença e destaque dos modelos na BNCC na área de Ciências da Natureza não é uma novidade. Os modelos se consolidaram como uma importante área de investigação dentro da educação científica desde os anos 1980, focando nas representações intuitivas dos alunos sob a influência do crescente movimento das concepções alternativas (MACHADO, 2017). No século XX, Mario Bunge foi um dos importantes filósofos da ciência a tratar os modelos como elementos centrais na construção do conhecimento científico. Bunge argumentou que os modelos servem não apenas para representar a realidade, mas também para explorar e testar hipóteses científicas, desempenhando um papel crucial na formulação e validação de teorias. Logo, a partir de sua perspectiva, os modelos seriam instrumentos indispensáveis na prática científica, permitindo uma compreensão mais detalhada e precisa dos fenômenos naturais (BUNGE, 1974).

Assim, na busca por uma estratégia que responda aos desafios modernos da educação científica, o campo dos modelos e da modelagem se mostra bastante fecundo, tendo evoluído de uma compreensão inicial dos modelos como meras representações simplificadas da realidade para uma visão mais complexa, que reconhece os modelos como ferramentas epistemológicas e didáticas fundamentais no Ensino de Ciências (GILBERT; JUSTI, 2016). Harrison e Treagust (2010) destacam a partir de Gilbert (1993) a profunda relação entre os modelos e a Ciência:

> "Os modelos são essenciais para pensar e trabalhar cientificamente e pode-se argumentar que a ciência e os seus modelos explicativos são inseparáveis porque os modelos são os produtos, os métodos da ciência e as suas principais ferramentas de aprendizagem e ensino" (HARRISON; TREAGUST, 2010, apud GILBERT, 1993, p. 1011, tradução nossa).

Portanto, a abordagem formal de um ensino que seja baseado em modelos é consonante à busca por formas de ensinar que coloquem o estudante no centro do processo de ensino e aprendizagem. Isso garante que os conceitos não estejam separados da contextualização social, histórica e cultural da Ciência e da tecnologia, estando atrelados a processos e práticas de investigação, permitindo que os estudantes compreendam as linguagens específicas da Ciência e de suas disciplinas (GILBERT; JUSTI, 2016). Ou seja, o domínio do uso de modelos no ensino constitui-se como uma estratégia para ampliar a participação e o engajamento dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem, rumo a uma educação científica autêntica, que envolveria a mudança de foco da obtenção de conhecimento pelos alunos para a aplicação do conhecimento por eles, envolvendo-os em práticas que refletem o modo como a Ciência é construída e utilizada. Isso se relaciona à compreensão sobre a Natureza da Ciência (NDC), e contribui para reflexões sobre como o conhecimento científico é produzido, além de identificar suas limitações e seu caráter provisório (GILBERT; JUSTI, 2016). Portanto, uma educação científica autêntica buscaria aproximar os estudantes da prática científica real, tornando o ensino mais significativo e contribuindo para a alfabetização científica crítica e reflexiva.

Dessa forma, o investimento de esforços numa metodologia de ensino baseada na prática contribuiria para uma educação científica autêntica por conduzir os estudantes além do desempenho mecânico de ações ou processos científicos. Esses estariam envolvidos num trabalho proposital, de construção de conhecimento, desenvolvendo, assim, uma 'compreensão da prática' (BERLAND *et al.* 2015). Essa forma de ensinar colaboraria, segundo Gilbert e Justi (2016), para tornar o capital cultural dos educandos relevante para o estudo da Ciência, aumentando os níveis de atividade mental, o envolvimento e o engajamento emocional deles com as atividades propostas. "*Envolver os alunos numa participação significativa na prática exige que eles compreendam a lógica e as normas que regem a prática, ou seja, o que estão fazendo e por que estão a fazer*" (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 3, tradução nossa).

Nesse cenário, de busca pela compreensão mais detalhada e precisa dos fenômenos naturais rumo a alfabetização científica e biológica, se insere o Ensino de

Biologia. Buckley (2000) discute em seu trabalho a dificuldade dos estudantes em compreenderem fenômenos biológicos, que, no caso de seu estudo, associavam-se ao sistema circulatório, dadas as complexas interações entre todas as partes que o compõem e ao nível microscópio, inacessível aos alunos sem uso de ferramentas para visualização. Esse cenário se complexifica para o estudo da Bioquímica, campo submicroscópico da Biologia, que exige bastante abstração e imaginação para a descrição dos fenômenos em nível molecular, difícil de ser representado com os recursos e instrumentos amplamente disponíveis nas escolas (MACHADO *et al.* 2004).

A Bioquímica é considerada a "química da vida" (BERG *et al.* 2021 e NESLON; COX, 2012), e investiga as estruturas, organização e transformações moleculares celulares e sistêmicas, essenciais à sobrevivência, crescimento e reprodução dos organismos, e fundamentais para a compreensão inúmeros conceitos biológicos.

Dentro da Bioquímica existe um conteúdo chave: a relação do código genético (DNA) com a síntese proteica. Nessa perspectiva, Andrade e Caldeira (2009) destacam que "*Compreender a forma (estrutura) e função (atividade) da molécula de DNA pode nos auxiliar a estudar questões fundamentais das ciências biológicas*" (ANDRADE; CALDEIRA, 2009, p. 141). Em outras palavras, o material genético é como a "receita do bolo", ou seja: é a informação contida na sequência de nucleotídeos presentes nas moléculas de DNA da(s) célula(s) de um organismo, os genes, que determina a expressão das proteínas. Proteínas são moléculas orgânicas, tal como os ácidos nucléicos (DNA e RNA), e possuem cinco funções principais nos organismos: estrutural, enzimática, hormonal, defesa e transporte (SADAVA *et al.* 2009; BERG *et al.* 2021; ALBERTS *et al.* 2014). Logo, a coleção de proteínas que temos determina nossas características. Se a receita para fabricação das proteínas está em nosso material genético, nos genes, que são trechos das moléculas de DNA, a expressão dessas moléculas determina como funcionamos enquanto seres vivos. Compreender o processo de fabricação de uma proteína é fundamental para o estudo da vida e sua evolução na Terra.

Entretanto, apesar da importância do estudo da Bioquímica, Solner *et al.* (2020) realizaram entrevistas com professores da rede pública e privada do Rio Grande do Sul sobre o ensino de Bioquímica e seu trabalho revelou que nenhum dos professores da rede pública aborda o conteúdo, justificando a omissão pela falta de tempo devido à carga horária insuficiente e greves frequentes. O trabalho destaca também que, apesar de a Bioquímica ser submicroscópica, o que dificulta o aprendizado por exigir elevado nível de abstração, os professores que de fato

lecionaram o conteúdo utilizavam apenas o livro didático como recurso. Seu trabalho concorda com Henriques *et al.* (2016), que destacam ser imprescindível uma sistemática que busque alternativas metodológicas para o ensino do campo.

Nesse sentido, Lazzaroni e Teixeira (2017) exploram a eficácia do uso de modelos no ensino de Bioquímica, especificamente o ensino da síntese proteica. O trabalho reforça a importância de integrar modelos didáticos no currículo de ciências, evidenciando como eles podem ser utilizados para tornar o ensino de temas complexos mais acessível e envolvente. Roldi *et al.* (2024) também abordam o uso de modelos no ensino da síntese proteica e seus resultados indicam que a metodologia auxiliou na compreensão sobre o tópico por parte dos alunos. Através da simulação realizada com o uso do modelo, os estudantes foram capazes de visualizar o processo de maneira mais clara, compreendendo suas etapas e dinâmica. Os autores também relataram que os estudantes demonstraram maior interesse e engajamento nas aulas quando o modelo foi utilizado, sugerindo que a abordagem adotada contribuiu para tornar o aprendizado mais envolvente e motivador. Paz *et al.* (2006) e Rayner (2012) obtiveram resultados semelhantes em seus trabalhos com Ensino de Biologia, assim como de Souza *et al.* (2017), Ferreira e Pino (2003) no Ensino de Química, em relação a participação e engajamento dos estudantes nas atividades propostas.

Percebe-se, portanto, uma interseção entre os trabalhos supracitados: todos optaram por estratégias ativas de ensino sua realização envolveu o trabalho com modelos. Considerando a BNCC, os desafios modernos da educação científica, a importância da alfabetização científica e biológica, bem como os múltiplos potenciais pedagógicos do campo dos modelos para o ensino de Biologia, realizamos uma sequência didática para o ensino de Bioquímica, construída e executada com base nos modelos e em sua produção, revisão, teste e avaliação, conhecida como modelagem.

1. Fundamentação teórica e revisão da literatura

Este capítulo tem dois objetivos principais. O primeiro é apresentar e discutir os referenciais teóricos que embasaram esta pesquisa: *Modelling-based Teaching in Science Education* (GILBERT; JUSTI, 2016), "*Epistemologies in Practice: Making Scientific Practices Meaningful for Studentes"* (BERLAND *et al.* 2016), "*Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners"* (SCHWARZ *et al.* 2009) e "*Experimentar sem medo de errar"* (SILVA *et al.* 2010). Em seguida, apresentamos uma revisão bibliográfica a fim de ilustrar brevemente o cenário do campo dos modelos e do Ensino Fundamentado em Modelagem no Ensino de Ciências na Educação Básica no Brasil.

1.1. Sobre modelos e modelagem

Os modelos são construções humanas intimamente associados à experimentação. A "... *experimentação no ensino pode ser entendida como uma atividade que permite a articulação entre fenômenos e teorias. Desta forma, o aprender Ciências deve ter sempre uma relação constante entre o fazer e o pensar.*" (SILVA *et al.* 2010, p. 233). Logo, modelos são instrumentos importantes para a Ciência moderna, possuindo importância amplamente reconhecida na prática científica, funcionando de variadas formas para ajudar a conhecer não só sobre as teorias, mas também sobre o mundo (MORRISON; MORGAN, 1999; GILBERT; JUSTI, 2016). Portanto, modelos deveriam ter um papel igualmente importante rumo a uma educação científica autêntica, principalmente ao se considerar os desafios atuais da educação em Ciências (GILBERT; JUSTI, 2016).

Machado (2017) e Fernandes (2022), destacam a polissemia da palavra "modelos". Para o filósofo da Ciência Mario Bunge, o termo 'modelo': *"(...) designa uma variedade de conceitos que é preciso distinguir. Nas ciências teóricas da natureza e do homem parece haver 2 sentidos principais: o modelo enquanto representação esquemática de um objeto concreto e o modelo enquanto a teoria relativa a esta idealização.*" (BUNGE, 1974, p. 30). Gilbert (2004) se aproximaria de Bunge, um

realista, ao destacar que os modelos funcionariam como uma ponte entre teoria científica e o mundo experienciado (“realidade”). Mendonça (2008), com base em diversos renomados autores da área, destaca importantes definições a respeito dos modelos:

> O interessante em modelos na ciência e no ensino se relaciona ao fato de eles (i) serem a base do raciocínio científico (Clement, 1989, 2000; Nersessian, 1999); (ii) fundamentarem a proposição e a interpretação de experimentos sobre a realidade (Morrison; Morgan, 1999; Vosniadou, 1994, 2002); (iii) serem essenciais para fundamentar explicações (Erduran; Duschl, 2004); (iv) facilitarem a comunicação do conhecimento científico. Isso tem sido reconhecido por cientistas (por exemplo, por Watson e Crick quando da proposição a discussão da validade do modelo para a estrutura molecular do DNA, de 1970) e por filósofos da ciência (por exemplo, Nersessian, 1999); (v) atuarem como agentes que simplificam fenômenos complexos ou uma teoria (Morrison e Morgan, 1999); (vi) poderem fundamentar previsões (Borges 1999; Vosniadou, 2002) e (vii) favorecerem a visualização de entidades abstratas (Barab *et al.* 2000; Harrison e Treagust, 1998) (MENDONÇA, 2008, p. 10).

Silva (2022) elabora em seu trabalho um quadro a partir de obras de autores como Harrison e Treagust (2020), Gilbert, Boutler e Elmer (2020), Gilbert (2004) e Justi (2019), que apresenta uma tipologia de modelos e pode ser vista a seguir.

Quadro 3 – Tipologia de modelos

Modelo	Caracterização
Mental	É uma representação cognitiva, pessoal e privada, podendo ser formada de forma individual ou em grupo.
Expresso	É uma maneira de se colocar os modelos mentais em domínio público (visto que os modelos mentais não podem ser acessados por terceiros), essa expressão pode ser feita em diferentes modos.
Consensual	Surge a partir de discussões e testes, grupos, ou até mesmo uma turma escolar, que estão em consenso de que o modelo expresso possui valor aos atributos que busca expressar.
Científico	Um modelo expresso que foi consentido e ou elaborado por um grupo de cientistas, tendo sua validação sido feito por meio dos diferentes tipos de testes.
Histórico	Modelos produzidos em contextos específicos ao longo da história, que desempenharam papéis fundamentais no direcionamento das pesquisas científicas, mas que com o passar do tempo, são substituídos por um novo modelo.

Curriculares	São modelos utilizados para auxiliar na compreensão dos modelos históricos e científicos a partir de modificações (simplificações) estes são inseridos no âmbito escolar.
De Ensino	São usados no contexto escolar a fim de auxiliar os estudantes na compreensão de elementos específicos dos modelos curriculares. Estes devem levar em consideração o contexto em que será usado e o nível cognitivo dos alunos.

Fonte: SILVA, 2022, p. 16.

Uma importante visão de modelos é a de Schwarz *et al.* (2009), que os consideram generativos, sendo utilizados para explicação e previsão de fenômenos. Para os autores, um modelo ofereceria uma explicação sobre porque um fenômeno se comporta de certa forma, podendo gerar previsões verificáveis a partir de novos dados relacionados ao fenômeno. Haveria uma interação contínua entre o modelo e o fenômeno de maneira que a análise do fenômeno proporcionaria novas ideias sobre possíveis elementos, relações, operações e regras do modelo, além de indicar evidências limitantes às opções de modelos. Vale destacar que nem todas as representações seriam modelos, que, sendo representações especializadas, incorporam aspectos de mecanismo, causalidade ou função para ilustrar, explicar e prever fenômenos, o que concorda com Gilbert (2004) e Silva *et al.* (2010).

Assim como Gilbert e Justi, Bunge menciona repetidas vezes em sua obra o importante papel da imaginação no processo de modelagem. Ao dizer: "*imaginando experiências que possam pôr em evidência a realidade dos mecanismos imaginados*" (BUNGE, 1974, p.18), o autor aborda a construção mental dos modelos, algo realizado por todas as pessoas ao processarem cognitivamente aquilo que é estudado, podendo ser observado também na obra de Clement e Rea-Ramirez (2008), outra importante referência para o campo dos modelos e da modelagem. Gilbert e Justi (2016) abordam em sua obra o conceito de modelos mentais e, a esse respeito, destacam:

> Em todos os principais estudos psicológicos realizados a partir da década de 1980, os modelos mentais são descritos como representações internas de objetos, eventos ou processos que possuem uma estrutura de relação semelhante ao que é representado. Em outras palavras, são análogos estruturais do que está sendo representado, construídos na mente para raciocinar (Nersessian, 2002; Thagard, 2010; Vosniadou, 2002). (...) Além disso, os psicólogos assumem que os modelos permitem aos indivíduos explicarem e fazer previsões sobre fenômenos, bem como resolver problemas que os envolvem (GILBERT; JUSTI, 2016, p.19, tradução nossa).

Em seu livro, “Teoria e realidade”, Bunge oferece contribuições para o campo dos modelos com conceitos como “objetos-modelo” e “modelos-teóricos”. Para o autor, um objeto-modelo seria um modelo conceitual de algo que se deseja estudar e que estaria intimamente relacionado à idealização. Já o modelo-teórico seria uma teoria que descreve o objeto-modelo, um “*sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo, que é por sua vez, uma representação conceitual esquemática de uma coisa ou de uma situação real ou suposta como tal*” (BUNGE, 1974, p.16).

Nesse cenário, o autor constrói um modelo, a “caixa-negra”, que consiste numa proposta de modelo-teórico inicial, um modelo do qual não se sabe muito a respeito e, por isso, não se consegue visualizar seus mecanismos internos de funcionamento, apenas informações que nela entram e dela saem. O autor diz que a caixa representa o funcionamento global do sistema estudado e compara isso a ideia que uma criança exibe sobre o funcionamento de equipamentos ou objetos do cotidiano, como um carro, um rádio ou de uma televisão. Pode-se, então, dizer que a criança não sabe explicar os mecanismos internos que geram o funcionamento de tais objetos. No entanto, tomando a televisão como exemplo, a criança sabe que se o equipamento estiver conectado à tomada e o controle remoto for utilizado, o equipamento poderá ser ligado e ela então verá imagens e ouvirá sons. Se a televisão é o modelo-teórico para a criança, ela é uma caixa-negra, que se tornará cada vez mais translúcida conforme a criança adquira/construa conhecimentos para sua interpretação através da complexificação de suas observações e testes realizados. Durante essa dinâmica, ela se aproximará da realidade de funcionamento do equipamento, ainda que, para o autor, nunca consigamos atingir totalmente a realidade, “tocá-la”, por assim dizer, por mais que possamos entendê-la em grande dimensão e até alterá-la.

Assim, poder-se-ia dizer, a partir da interpretação de Bunge, que os objetos-modelo ofereceriam condições de estudo da realidade, simulando-a. Isso permitiria atingir novos estados de consciência sobre o que se propõe a estudar. Esse raciocínio poderia ser aplicado a muitos objetos e fenômenos que se deseja conhecer ou ensinar, como os modelos de células, modelos matemáticos da genética de populações, modelos metabólicos, entre muitos outros nas aulas de Ciências Naturais ou de Biologia. Dentro dessa perspectiva, compreende-se que ao se processar a realidade, constrói-se modelos mentais e neles realiza-se testes mentais ao se processar seus dados e informações, o que, para Gilbert e Justi (2016), corresponderia ao “modelo de modelagem”, uma das expressivas e numerosas contribuições de sua obra.

Uma visão mais atual de modelos e contextualizada à Ciência moderna é a de Tarja Knuuttila, cuja abordagem se afasta da visão tradicional de modelos científicos como representações da realidade. Em vez de encará-los apenas como "espelhos" que reproduzem aspectos do mundo de forma isomórfica, a pesquisadora finlandesa defende que os modelos devem ser entendidos como artefatos epistêmicos (KNUUTTILA, 2017). Essa perspectiva enfatiza que o valor epistêmico dos modelos não reside tanto em sua semelhança com sistemas-alvo, mas principalmente em sua função pragmática, nas suas restrições de construção ou materiais e na maneira como são empregados para intervir nos processos de investigação científica (KNUUTTILA, 2021).

De acordo com essa proposta, os modelos são construídos, manipulados e revisados por meio de um processo iterativo. Eles seriam concebidos deliberadamente para abordar questões específicas, facilitando a exploração, a experimentação e a geração de hipóteses. Nessa ótica, a eficácia de um modelo não seria medida exclusivamente por quão bem ele "espelha" a natureza externa, mas pela forma como, ao ser usado, delimitaria, guiaria e organizaria a investigação científica. Ou seja, seu valor epistêmico estaria intrinsecamente ligado às suas características construtivas, ao contexto tecnológico e aos métodos pelos quais os cientistas interagem com eles (KNUUTTILA, 2017; KNUUTTILA, 2021).

A proposta de Knuuttila também ressalta que os modelos operariam dentro de contextos sociais e tecnológicos específicos. Eles seriam, em certo sentido, produtos culturais e técnicos cuja construção dependeria não apenas de dados ou teorias, mas também dos instrumentos, práticas e objetivos de uma comunidade científica. Isso significa que o design, os materiais empregados e as escolhas metodológicas na elaboração de um modelo influenciariam diretamente o tipo de conhecimento que ele pode gerar (KNUUTTILA, 2021).

Em resumo, a visão de Knuuttila propõe que, para entender a verdadeira utilidade dos modelos científicos, seria necessário deslocar o foco do modelo enquanto representação exata de um sistema-alvo para sua função como artefato que possibilitaria a investigação de fenômenos. Essa reorientação teórica nos permite reconhecer que os modelos, por serem projetos intencionais e sujeitos a revisões, oferecem uma forma robusta de mediação entre nossas concepções teóricas e a complexidade do mundo real, atuando como ferramentas ativas que potencializam a descoberta e a inovação na prática científica (KNUUTTILA, 2017; KNUUTTILA, 2021).

Outro importante conceito dentro do campo de estudos abordado é o de "modelização" ou "modelagem". Buscando maior alinhamento aos referenciais teóricos aqui adotados, optamos por utilizar a palavra "modelagem". Essa tradução direta da expressão "modelling" evita o que é apresentado por Madeira (2024), cuja pesquisa indica que os resultados encontrados por buscas com termos diferentes incluem ideias e abordagens diferentes sobre o tema. Assim, para Gilbert e Justi (2016), modelagem é um "*processo dinâmico de produção, uso, modificação e abandono de modelos na ciência*" (GILBERT; JUSTI, 2016, p.viii), além de ser um "*processo central em todo o pensamento humano e, como tal, um foco de vital importância para a educação*" (GILBERT; JUSTI, 2016, p.viii). Os autores, portanto, diferenciam trabalho com modelos de trabalho com modelagem, que seria algo além do trabalho com modelos por exigir envolvimento mais ativo dos estudantes sendo esses os construtores dos modelos, o que se alinha a uma perspectiva construtivista do processo de ensino e aprendizagem.

É importante destacar que o trabalho com modelagem pode contribuir para que o professor conheça mais sobre as estruturas cognitivas de seus estudantes. Osborne e Gilbert (1980) afirmam que quanto mais os professores compreendem e valorizam as estruturas cognitivas de seus alunos, mais aptos estarão para oferecerem experiências de aprendizagem que permitam a modificação dessas estruturas, já que o aprendizado em ciências implica na adaptação da estrutura cognitiva do aluno, possibilitando que ele explique os fenômenos de maneira mais precisa e científica.

Acrescemos às visões acima apresentadas sobre "modelos" e "modelagem" a visão de Barreto (2020) sobre a Química, a disciplina que leciona e estuda. Para o autor, a Química é uma ciência extremamente modelar. Estendemos esse pensamento à Biologia que, assim como a Química, exibe em muitas de suas frentes de estudo impossibilidade de acesso direto à realidade por conta de sua composição submicroscópica, como é o caso da Bioquímica e da Biologia Molecular. Assim, o autor destaca que o melhor modelo seria aquele que conseguisse explicar as observações feitas dos fenômenos e "*que seja a melhor fonte para possíveis previsões daquilo que está sendo estudado*" (BARRETO, 2020, p.39). Ele destaca ainda que é muito importante que os professores discutam em sala com seus estudantes as concepções de modelos, explorando sua compreensão sobre o tópico, já que essa concepção é essencial para o estudo da disciplina que lecionam.

A seguir observa-se a Figura 1 que ilustra o tetraedro que representa a estrutura do Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM) de Gilbert e Justi (2016). Essa estrutura envolve 4 estágios que compõem um processo dinâmico e não sequencial.

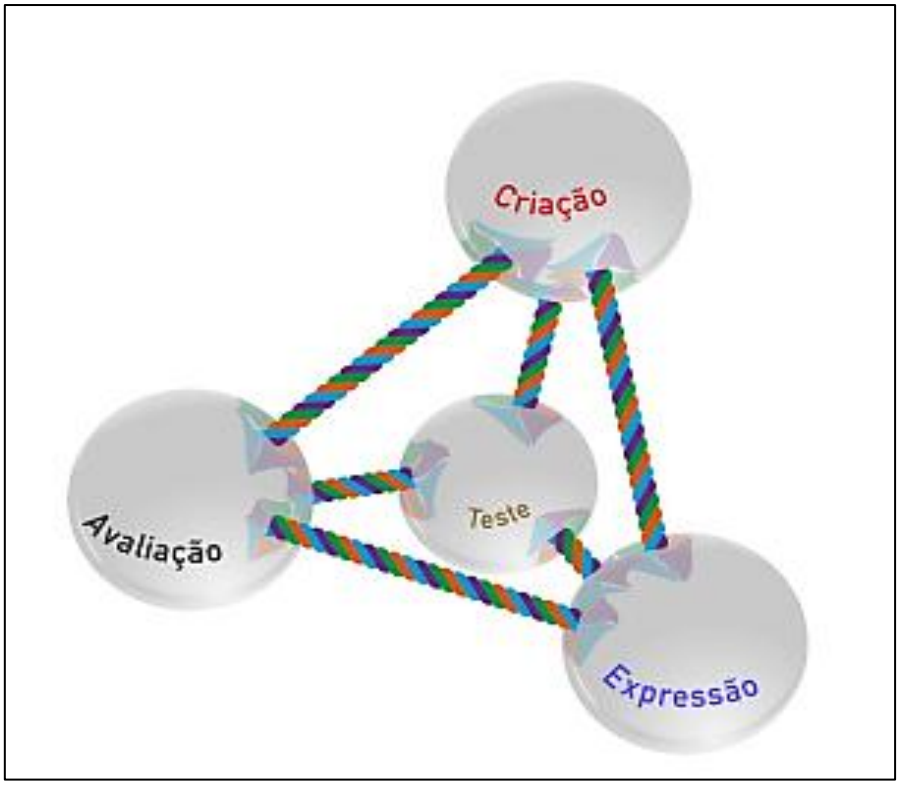


Figura 1 – Representação do diagrama de modelagem, o tetraedro do EFM
Fonte: GILBERT; JUSTI, 2016, p. 36, tradução e adaptação nossa.

O trabalho se inicia independentemente de o estudante ter experiência com o assunto que será alvo da modelagem. A criação de um modelo mental permite a expressão de todos os demais vértices sendo esse expresso, testado e avaliado a qualquer momento, por vezes simultaneamente. O modelo mental resultará num protomodelo, uma primeira versão do modelo, podendo esse ser representado por um desenho, um mapa, um esquema ou diversas outras formas. À medida que o protomodelo é elaborado, os estudantes o testam mentalmente, modificando-o de acordo com sua análise, podendo até rejeitá-lo completamente, o que demandaria retomar a criação, proporcionando modificações na estrutura do modelo proposto. Após os testes realizados no modelo mental serem vencidos, o design do modelo envolve a realização de testes empíricos, que explicitarão suas limitações, algo importante ao se considerar que um modelo nunca toca a realidade, apenas se aproximando dela (GILBERT; JUSTI, 2016; BUNGE, 1974). A seguir vê-se a Figura 2, que evidencia os processos do modelo de modelagem de Gilbert e Justi (2016).

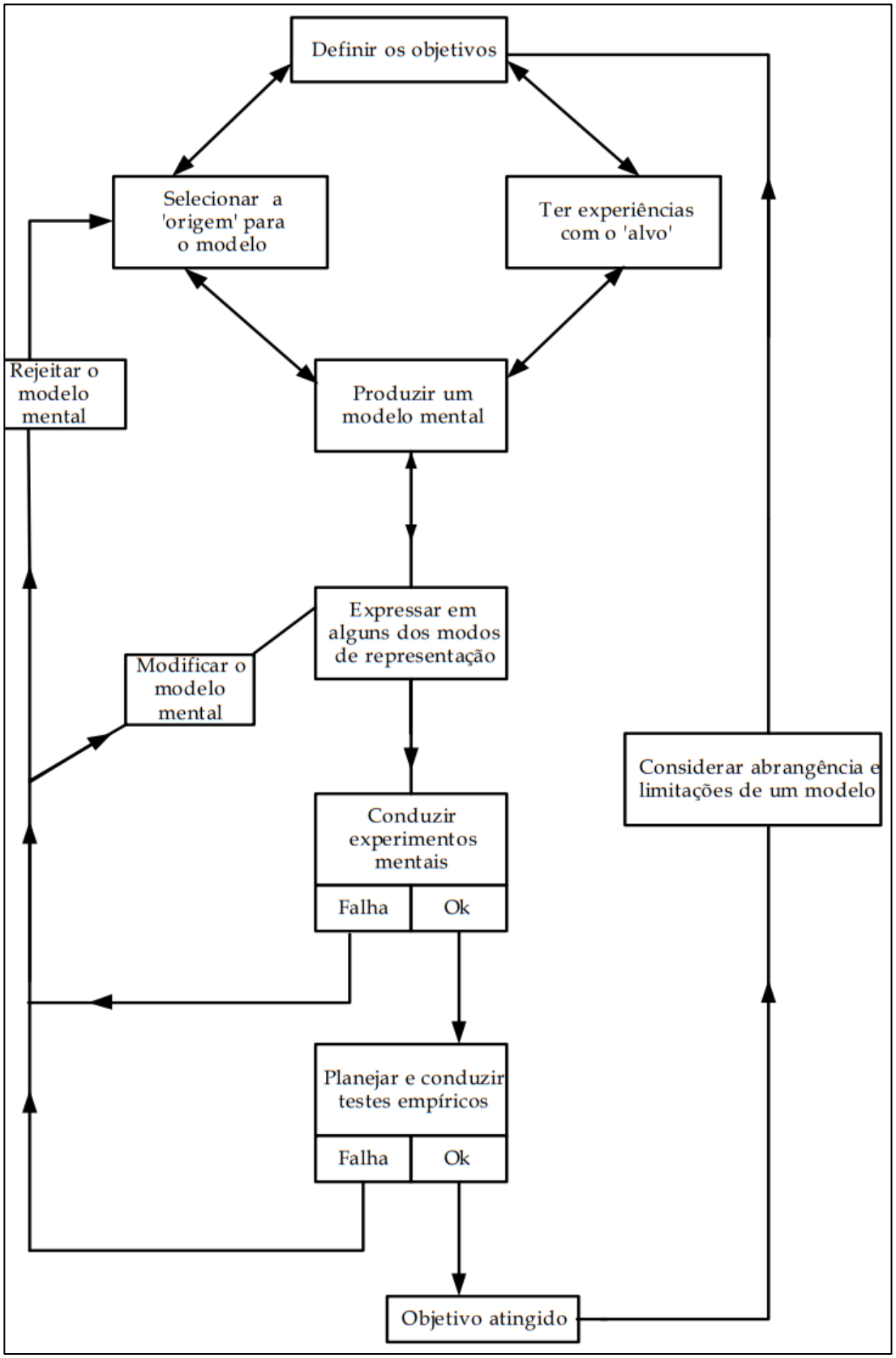


Figura 2 – Diagrama Modelo de Modelagem
Fonte: MENDONÇA, 2008, p. 17, apud Justi; Gilbert, 2002, p. 371.

1.2. Epistemologias na Prática

Os modelos e a modelagem são a base do EFM, uma forma ativa de se ensinar, que é intimamente ligada ao fazer Ciência e à educação científica. Nessa perspectiva, Berland *et al.* (2015) descrevem que a educação científica deve ser significativa em dois âmbitos principais: significativa para a comunidade científica e para a comunidade da sala de aula, o que se alinha ao que é apresentado pela BNCC. Em seu trabalho, os autores abordam a necessidade da participação discente no processo de ensino e aprendizagem de forma ativa, considerando que todas as ações dos educandos possuem concepções epistemológicas próprias, ainda que eles possam não ser conscientes disso. Eles propõem, então, uma estrutura para apoiar os pesquisadores na caracterização do envolvimento dos alunos nas práticas científicas, que chamaram de "Epistemologias na Prática", tradução de "Epistemologies in Practice" (EIP) (BERLAND *et al.* 2015).

As EIP elaboram uma caracterização e análise do envolvimento dos estudantes em seu processo de aprendizagem. Há quatro considerações epistêmicas propostas por Berland, *et al.* (2015) para as EIP dos estudantes: (1) natureza, (2) generalidade, (3) justificação e (4) público.

A primeira envolve que tipo de resposta o produto de conhecimento (modelo) criado pelos estudantes deve fornecer. Nela, as considerações expressas pelos estudantes perpassam o que o produto de conhecimento (modelo) descreve, explica, ilustra e como o faz.

A segunda indica como o produto de conhecimento se relaciona com outros fenômenos e ideias científicas. A "generalidade" é muito importante, já que o processo de modelagem oportuniza aos estudantes a identificação e construção de muitas relações internas do sistema estudado, mas que também interagem com outros campos científicos, algo inerente à natureza inter e transdisciplinar do conhecimento científico. Assim, as concepções epistêmicas dos alunos dentro da consideração "generalidade" contribuem para que entendam como seu trabalho/pesquisa se relaciona com a Ciência, permitindo que novas e frutíferas relações sejam construídas, abrindo espaço para ampliação do seu conhecimento e do conhecimento da comunidade científica – é relevante, portanto, para a comunidade da sala de aula e para a comunidade científica.

A “justificação”, terceira consideração epistêmica, envolve como as ideias nos produtos de conhecimento gerados pelos alunos são justificadas. Ou seja, por que fazemos o que fazemos? O que dados, teorias científicas, experiências pessoais nos oferecem termos de interpretação para que justifiquemos nossos esforços dentro do estudo/trabalho proposto. A atribuição de significado que a consideração epistêmica “justificação” fornece para o trabalho dos estudantes é muito poderosa. E, mais uma vez, vê-se a relação de um trabalho desenvolvido na sala de aula com a realidade da Ciência.

A quarta consideração epistêmica corresponde ao “público” ao qual se destina o modelo produzido pelos estudantes. Logo, poder-se-ia dizer, a partir da proposta dos autores, que “público” seria uma consideração epistêmica com relevância diferenciada dentre as demais, já que exige dos estudantes profundo conhecimento a respeito daqueles que usarão seu produto de conhecimento, para quem se destinarão todos os seus esforços. O “público”, portanto, influencia as demais considerações porque dita intensamente aspectos da “natureza” e da “justificação” da proposta, tendo a “generalidade” como recheio da construção, ancorando o trabalho a diversos campos da Ciência.

Essas considerações são, segundo os autores, centrais para a construção do conhecimento científico, principalmente em um trabalho que envolva modelagem. Segundo eles, o exame das concepções epistemológicas dos alunos “*vai além de um exame binário sobre se o trabalho deles representa uma forma idealizada de ciência, caracterizando as ideias epistêmicas que são relevantes para o trabalho de construção do conhecimento dos alunos*” (BERLAND *et al.* 2015, p. 22).

Portanto, quando estudantes criam modelos, eles expressam considerações epistêmicas em todas as etapas mencionadas no modelo de modelagem – Figura 1. Essas considerações, que podem não ser sempre evidentes, mostram como eles processam a realidade e elaboram em suas mentes o conhecimento que acaba sendo expresso em seus produtos de conhecimento, os modelos.

Outro ponto importante é que o entendimento das Epistemologias na Prática auxiliaria na produção de materiais didáticos voltados para o EFM, sendo, assim, fundamental para sua produção e elaboração, por explorar o significado daquilo que é feito, como é feito e por que é feito. Logo, as atividades propostas neste estudo são produzidas pela perspectiva do EFM e influenciadas pelas EIP. E, para que fosse possível avaliar como se daria a caminhada dos estudantes pela trilha de aprendizagem proposta, fez-se necessário outro importante conceito dentro do campo

dos modelos e da modelagem: a Progressão da Aprendizagem.

1.3. A Progressão da Aprendizagem

Durante atividades de modelagem, os estudantes utilizam, constroem, avaliam e revisam modelos, que são utilizados na construção de seu raciocínio (SCHWARZ, *et al.* 2009; GILBERT; JUSTI, 2016; SILVA *et al.* 2010). Nesse processo, os alunos se expressam de várias formas, tendo a oportunidade de desenvolverem visualização, raciocínio analógico, argumentação e o conhecimento sobre a ciência (GILBERT; JUSTI, 2016; MOZZER; JUSTI, 2018; MENDONÇA, 2008; MACHADO; FERNANDES, 2021) e a observação dessa dinâmica permite a identificação de seu desenvolvimento. O caminho dos estudantes por níveis cada vez mais elaborados de percepção e expressão durante atividades de modelagem pode ser acompanhado. Para Schwarz *et al.* (2009), a "Progressão da Aprendizagem", tradução da expressão "Learning Progression" (LP), é uma forma de avaliar a caminhada de desenvolvimento dos estudantes durante a realização do EFM e seu foco está na prática científica em si, e não em ideias científicas específicas, como a natureza da matéria por exemplo. Para tanto, é importante analisar "*que aspectos da prática de modelagem podem tornar-se significativos e produtivos para os alunos de ciências"* e *"que sucessos e desafios surgem quando os alunos se envolvem em práticas de modelagem*" (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 633, tradução nossa).

O projeto de LP de Schwarz *et al.* (2009) exibe dois compromissos importantes: a integração dos elementos da prática com o conhecimento sobre metamodelagem e a integração da criação de sentido e dos aspectos comunicativos da prática, o que pode ser observado na Figura 3.

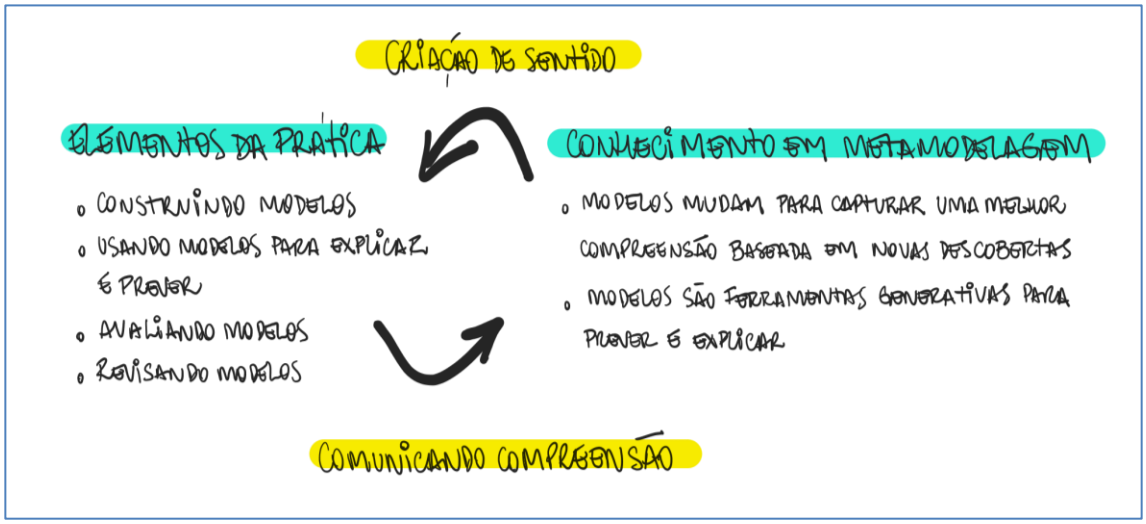


Figura 3 – LP baseada em modelagem científica

Fonte: SCHWARZ *et al.* 2009, p. 637, tradução e adaptação nossa.

Para os autores, os elementos da prática e o metaconhecimento não devem ser vistos como objetivos de aprendizagem separados e eles destacam que seria uma versão pobre da prática se os alunos se envolvessem na proposta de forma mecânica, sem compreenderem os propósitos de cada etapa ou se trabalhassem com os modelos se esforçando para alcançá-los de formas específicas, mas sem compreenderem seu significado mais amplo (SCHWARZ, *et al.* 2009), o que dialoga com Berland *et al.* (2015), que, inclusive, fazem parte do mesmo grupo de pesquisa. Os autores sugerem ser crucial envolver os alunos na construção de modelos ao invés de trabalhar com modelos fornecidos por professores ou autoridades científicas. Eles destacam ainda que o conhecimento de metamodelagem orienta a prática ajudando os alunos a se envolverem na atividade permitindo que planejem e avaliem de forma mais eficaz suas investigações (SCHWARZ *et al.* 2009). Portanto, a LP proposta pelos autores leva em consideração os aspectos do metaconhecimento que influenciam os elementos da prática e procuram ainda analisar o crescimento na interação do metaconhecimento em si com os elementos da prática (SCHWARZ et. al. 2009).

A LP proposta pelo grupo destaca quatro importantes elementos que devem ser considerados no processo de modelagem. Primeiramente, os alunos desenvolvem modelos que sejam compatíveis com as evidências e teorias já estabelecidas para representar, explicar ou prever fenômenos. Em segundo lugar, eles utilizam esses modelos para demonstrar, interpretar e antecipar fenômenos. Em terceiro lugar, os alunos comparam e avaliam a eficácia de diferentes modelos na representação e explicação precisa de padrões em fenômenos, bem como na previsão de novos fenômenos. Por fim, eles revisam e aprimoram esses modelos, visando aumentar seu

poder de explicação e previsão, considerando novas evidências ou informações sobre um fenômeno (SCHWARZ *et al.* 2009).

O objetivo seria, portanto, explorar até que ponto o conhecimento sobre modelagem pode ser abstraído dos contextos específicos de modelagem em que é desenvolvido. "*O compromisso de examinar as formas como o conhecimento pode ser transportado de um ambiente para o outro é importante se quisermos procurar aprender sobre esta prática, que pode ser aplicada a uma ampla gama de tipos de modelos e fenômenos científicos*" (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 636, tradução nossa).

> É importante que os alunos visualizem que os modelos e a modelagem são ferramentas essenciais para o avanço do conhecimento, permitindo-nos representar e prever fenômenos complexos. Os modelos são abstrações, não representações literais, e podem ser múltiplos. Além disso, são constantemente avaliados e ajustados com base em evidências e teorias para aprimorar sua capacidade explicativa e preditiva. Logo, é importante o entendimento de que os modelos ajudam tanto na geração quanto na comunicação de novos conhecimentos, sendo frequentemente utilizados para esses dois fins pelos cientistas e alunos (SCHWARZ *et al.* 2009).

> Assim, Schwarz *et al.* (2009) evidenciam que a distinção entre criação de sentido e comunicação está relacionada ao público-alvo do modelo. Inicialmente, os alunos criam modelos para si mesmos ou para o grupo, visando entender um fenômeno e organizar o pensamento. Posteriormente, estão prontos para compartilhar e comunicar suas ideias, buscando consenso e colaboração ao apresentarem o modelo para os outros (SCHWARZ *et al.* 2009). Essa reflexão reforça a interpretação anteriormente exposta sobre a consideração epistêmica "público", presente no trabalho de Berland *et al.* (2015). Ou seja, sempre falamos para alguém, mesmo que seja para nós mesmos.

Considerando, portanto, que os autores enxergam duas dimensões para a LP: (1) "*Modelos como ferramentas geradoras para prever e explicar*" (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 640, tradução nossa) e (2) "*Os modelos mudam à medida que a nossa compreensão melhora*" (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 647, tradução nossa), eles apresentam em seu trabalho alguns quadros que contribuem para a compreensão do desempenho dos estudantes em ambas as dimensões dentro de atividades de EFM. O conteúdo desses quadros contribui para atribuição de significado à LP e ajudam a distinguir os níveis de desempenho dos estudantes dentro da proposta.

O Quadro 4 – "*Sequência de modelagem instrucional para materiais*

curriculares elementares" (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 638, tradução nossa) se aproxima bastante do modelo de modelagem de Gilbert e Justi (2016) apresentado na Figura 1, e junto desse foi utilizado como base para a concepção/construção das atividades proposta para essa pesquisa. Os fenômenos de ancoragem, em especial, contribuem para que ocorra o que os autores destacam como fundamental: permitir que os alunos entendam o que farão e por que farão. Logo, esse quadro não foi usado para avaliar a LP em si, mas, assim como o modelo de modelagem e as EIP, ofereceu suporte metodológico ao projeto.

Quadro 4 – "*Sequência de modelagem instrucional para materiais curriculares elementares*"

Sequência	Descrição
Fenômenos de ancoragem	Apresente questões e fenômenos orientadores para um conceito específico. Use um fenômeno que pode exigir o uso de um modelo para explica-lo.
Construir um modelo	Crie um modelo inicial expressando uma ideia ou hipótese. Discuta o propósito e a natureza dos modelos.
Teste empiricamente o modelo Avalie o modelo	Investigue os fenômenos explicados pelo modelo. Volte ao modelo e compare com os resultados empíricos. Discuta qualidades para avaliação e revisão.
Teste o modelo em relação a outras ideias Revise o modelo	Teste o modelo em relação a outras teorias e leis. Mude o modelo para ajustar novas evidências. Compare modelos concorrentes e construa um modelo de consenso.
Use o modelo para prever ou explicar	Aplique o modelo para prever e explicar outros fenômenos.

Fonte: SCHWARZ *et al.* 2009, p. 638, tradução nossa.

Já o Quadro 5 e o Quadro 6 apresentam os níveis de desempenho e compreensão que se deve observar nos estudantes durante as atividades de modelagem considerando primeiro os "*modelos como ferramentas geradoras para prever e explicar*" (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 640) e segundo os "*modelos como entidades mutáveis*" (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 647). Os autores destacam que as variáveis de progresso na modelagem refletem uma trajetória crescente de complexidade esperada dos alunos. Cada nível de desempenho representa uma versão mais sofisticada do anterior. Esses dois quadros são os instrumentos a partir

dos quais foram construídas as categorias do presente estudo e que foram utilizadas para identificar a LP vivenciada/expressa pelos estudantes durante as atividades propostas.

Quadro 5 – "*Uma progressão de aprendizagem para compreender modelos como ferramentais geradoras para predição e explicação*"

Nível	Apresentações
1	Os alunos não vêem um modelo como uma ferramenta para gerar novos conhecimentos, mas vêem os modelos como um meio de mostrar outros, como é o fenômeno. Os alunos constroem e usam modelos que mostram ilustrações literais de um único fenômeno.
2	Os alunos vêem os modelos como um meio de comunicar a sua compreensão de um fenômeno, em vez de uma ferramenta para apoiar seu próprio pensamento. Os alunos constroem e usam um modelo para ilustrar e explicar como um fenômeno ocorre, consistente com as evidências sobre o fenômeno.
3	Os alunos vêem modelos como ferramentas que podem apoiar o seu pensamento sobre fenômenos novos e existentes. Os alunos consideram alternativas na construção de modelos com base na análise das diferentes vantagens e fraquezas para explicar e prever que esses modelos alternativos possuem. Os alunos constroem e usam vários modelos para explicar e prever mais aspectos de um grupo de fenômenos relacionados.
4	Os alunos consideram como o mundo poderia se comportar de acordo com vários modelos. Os alunos constroem e usam modelos para gerar novas questões sobre o comportamento ou existência dos fenômenos. Os alunos constroem e usam modelos espontaneamente em vários domínios para ajudar seu próprio pensamento.

Fonte: SCHWARZ *et al.* 2009, p. 640, tradução nossa e adaptação nossa.

Quadro 6 – *"Uma Progressão da Aprendizagem para o entendimento de modelos como entidades mutáveis"*

Nível	Apresentações
1	Os alunos comparam seus modelos para avaliar se são réplica boas ou más do fenômeno. Os alunos não esperam que os modelos mudem com novos entendimentos, eles falam sobre modelos em termos absolutos de respostas certas ou erradas.
2	Os alunos fazem modificações para melhorar o detalhe, a clareza ou adicionar novas informações, sem considerar como é melhorado o poder explicativo do modelo ou o seu ajuste com a evidência empírica.

	Os alunos revisam modelos com base em informações provenientes de autoridades (professor, livro didático, colegas) em vez de evidências coletadas do fenômeno ou em novos mecanismos explicativos.
3	Os alunos comparam modelos para ver como diferentes componentes ou relações se ajustam às evidências de forma mais completa e fornecer uma explicação mais mecanicista dos fenômenos. Os alunos revisam modelos para melhor ajustar as evidências obtidas e melhorar a articulação de um mecanismo no modelo. Assim, os modelos são revisados para melhorar seu poder explicativo.
4	Os alunos avaliam modelos concorrentes para considerar a combinação de aspectos de modelos que podem melhorar a explicação e poder preditivo. Os alunos consideram mudanças nos modelos para aumentar o poder explicativo antes de obterem evidências que apoiem essas mudanças. As mudanças no modelo são consideradas para desenvolver questões que podem então ser testadas em relação às evidências dos fenômenos.

Fonte: SCHWARZ *et al.* 2009, p. 647, tradução nossa.

Compreende-se dos referenciais supracitados que o trabalho com modelagem demanda planejamento específico a fim de garantir disposição encadeada dos passos que contribuam à construção de uma suave curva de aprendizagem por parte dos estudantes durante o processo. Isso resulta em atividades pensadas de tal forma que os estudantes não estejam “soltos”, construindo modelos intuitivamente. Conforme Gilbert e Justi (2016) destacam, deve haver planejamento detalhado dos estímulos que serão oferecidos aos educandos durante a atividade de modelagem, sendo esses como os degraus deu uma escada: não muito grandes, gerando esforço desproporcional, contribuindo para o afastamento dos estudantes do processo por torná-lo abstrato, nem muito baixos, prejudicando o deslocamento diante do desinteresse. Outro aspecto importante, também destacado por Gilbert e Justi (2016), que foi importante para a criação das atividades deste projeto, é o conceito de “andaimes”, que seriam estruturas dentro das atividades que dariam suporte aos estudantes para que sigam por sua curva de aprendizagem.

Somado a isso, destaca-se também a importância de incorporar discussões sobre metamodelagem em momentos-chave da unidade, conforme destacado pelos autores, especialmente quando questões epistêmicas se tornam mais relevantes (SCHWARZ *et al.* 2009). É evidente a relevância da metamodelagem na obra de Gilbert e Justi (2016), o que se alinha aos elementos da prática e a metamodelagem na obra de Schwarz *et al.* (2009). Isso cristalizaria a impossibilidade de uma

abordagem que exclua o metaconhecimento e a metamodelagem de propostas de EFM. Portanto, além de projetar os passos que os estudantes seguem durante a execução de roteiros propostos, deve-se acompanhar o processo de forma ativa para que se possa garantir os "andaimes" e o suporte aos estudantes (GILBERT; JUSTI, 2016) durante as atividades. Isso contempla, no presente estudo, o ensino de Biologia, especificamente o ensino de Bioquímica, tópico síntese proteica, bem como o trabalho com modelos, modelagem e metamodelagem.

1.4. A experimentação e o EFM

Para Krasilchick (2000), Krasilchick (2011) e Franco (2024), ainda há, nos currículos de Ciências, grande ênfase no conhecimento conceitual em detrimento do engajamento em práticas investigativas, com o trabalho do professor focado nesse eixo. Franco (2024) destaca que "*O ensino de ciências por investigação nos oferece alternativas para o desenvolvimento de um currículo que valorize tanto o legado conceitual quanto o legado epistêmico da ciência*" (KELLY; LICONA, 2018 e SASSERON, 2015, apud FRANCO, 2024, p. 20). Em sua obra, Franco (2024) cita Duschl (2008), cujo trabalho explora os desafios e as possibilidades de implementar o ensino por investigação de forma eficaz ao discutir a importância de encontrar um equilíbrio entre a abertura que permite a criatividade dos alunos e a estrutura necessária para garantir que os processos investigativos conduzam a aprendizagens robustas. Dushcl enfatiza que o ensino por investigação não é simplesmente deixar os alunos "descobrirem" por conta própria, mas sim orientá-los por meio de uma abordagem bem estruturada que valorize as práticas científicas e a construção coletiva do conhecimento, algo consonante aos "andaimes" da proposta de Gilbert e Justi (2016). Vê-se claramente aproximações entre a linha conhecida como "Ensino por Investigação" e o EFM. Assim, para Franco (2024) o Ensino por Investigação:

> "... tem como base as propostas de Duschl (2008) acerca dos objetivos de aprendizagem relacionados aos domínios conceitual, epistêmico e social do conhecimento científico. Para o autor, o ensino por investigação constitui uma potência alternativa na promoção de articulações entre os domínios do conhecimento científico." (FRANCO, 2024, p. 20).

Nessa perspectiva, Silva *et al.* (2010) contribuem com uma visão bastante

próxima da realidade da sala de aula: "*Quando alunos realizam uma atividade experimental e observam determinados fenômenos, geralmente solicita-se que os expliquem*" (SILVA, 2010, p. 236). Para os autores, a explicação de um fenômeno utilizando-se de uma teoria é o que se denomina "relação teoria-experimento": a relação entre o fazer e o pensar. Quando se faz uso de uma teoria para explicar um fenômeno, não significa que se está provando a veracidade desta, mas sim testando sua capacidade de generalização, um exercício muito importante para a formação cognitiva dos estudantes (SILVA *et al.* 2010). Essa descrição dialoga com o campo dos modelos e do EFM. Contudo, os autores descrevem que "*Não é incomum, entre professores, a ideia de que a atividade experimental tem a função de concretizar para o aluno as formulações teóricas da ciência e que, por isso, facilitaria a aprendizagem.*" (SILVA *et al.* 2010, p. 237). Isso quer dizer que a atividade experimental seria compreendida e realizada como uma estratégia que busca melhoria da aprendizagem dos alunos, algo questionado pelos autores. Compreende-se, portanto, que, para os autores, as ações dos estudantes dentro das atividades propostas não deveriam ser reproduções mecânicas ou simplesmente ilustrativas dos fenômenos, exigindo deles um componente ativo, algo que dialoga profundamente com o campo dos modelos e da modelagem, como pode ser visto no trecho a seguir:

> "... desenhar e escrever são atividades que requerem, de um lado, a decomposição de um objeto em suas partes e, do outro, a combinação de algumas de suas partes, dando origem a algo novo, uma nova síntese. São, portanto, atividades criadoras. O mundo concreto que o homem tem diante de si é uma síntese de múltiplas determinações. Ao desenhar e descrever esse mundo ele subtrai-lhe algumas dimensões, dando origem a uma nova combinação de elementos, uma nova síntese, que não é aquela concretamente presente." (SILVA *et al.* 2010, p. 239).

Portanto, o registro por meio de desenhos e da escrita sobre o mundo real e concreto contribui para o desenvolvimento do pensamento analítico ou, segundo os autores: "*a decomposição do mundo concreto em partes e da criação de novas sínteses*" (SILVA *et al.* 2010, p. 239). Esse seria o coração das atividades experimentais, algo que foge da mera ilustração ou comprovação de conceitos, e que também faz parte do universo da modelagem. Portanto, fica clara a íntima relação da experimentação com o EFM, sendo ela entendida como "*ensaio, como análise de propriedades, de teor ou qualidade e de dimensões ...*" (SILVA *et al.* 2010, p. 239).

Aqui se vê mais uma relação profunda entre o EFM e os campos do Ensino por Investigação e das Atividades Experimentais: o entendimento docente a respeito do

que seriam aulas práticas, aulas de laboratório e aulas de modelagem é uma via comum. Para Silva *et al.* (2010) o local, o espaço, e até mesmo os recursos físicos são, sem dúvida, limitadores da proposta em seu sentido prático, mas não para seu sentido epistêmico. Ou seja, a essência de uma atividade prática, e aqui se encaixa o EFM, não estaria em si nos recursos, mas sim em sua estrutura, em seu planejamento. Logo, uma proposta de EFM pensada de maneira que os vértices do tetraedro do modelo de modelagem sejam expressos, que conduza os estudantes a partir de um tema motivador, que expresse a investigação, que promova a criação de hipóteses, a realização de testes e avaliações desses modelos e modelos-teóricos, bem como sua expressão, não depende necessariamente de objetos, mas do modelo de pensamento que sustenta a atividade. A partir dessa compreensão, o(a) professor(a) pode experimentar uma sensação de liberdade e autonomia que se refletem em seus estudantes através da atividade realizada, o que facilita tanto a concepção da atividade quanto sua execução. O trecho a seguir ilustra bem muitos dos pontos de aproximação entre as Atividades Experimentais, as Investigativas e o EFM, bem como a perspectiva da estrutura epistêmica necessária à realização dessas propostas:

> "A capacidade de generalização e de previsão de uma teoria é que pode dar a experimentação no ensino um caráter investigativo. Então, um experimento simples, em que haja um roteiro contendo apenas materiais e procedimentos pode ser transformado numa atividade investigativa se o professor conseguir inserir atividades outras que contemplem generalizações e previsões como visto anteriormente." (SILVA *et al.* 2010, p. 237).

Logo, percebe-se a presença de: teorias, generalizações e previsões, conceitos que abordamos em vários momentos até agora.

Outro ponto bastante interessante é que normalmente as propostas de EFM seriam realizadas em grupo, mas a expressão é individual. No entanto, assim como no processo investigativo, o desenvolvimento individual do pensar não está limitado a um único caminho (SILVA *et al.* 2010), também numa proposta de EFM:

> "As experiências individuais podem contribuir com olhares diferentes para explicar um mesmo fenômeno, no entanto as observações, os procedimentos experimentais, as comparações com teorias pré-existentes fazem parte desse processo para o qual sempre devem ser bem-vindas novas ideias. Um fenômeno para ser validado cientificamente, entretanto, precisa ser amparado em uma teoria que deve ser aceita pela comunidade científica." (SILVA *et al.* 2010, p. 236).

Portanto, fica evidente que o EFM é uma proposta repleta de experimentação e

investigação, o que se alinha às determinações da BNCC para a educação básica. E a perspectiva de Silva *et al.* (2010) colabora para uma melhor compreensão do EFM. Então, resumidamente, modelos seriam representação de algo, mas muito além disso, seriam artefatos epistêmicos (KNUUTTILA, 2005). Da mesma forma, Buckley (2000) destaca que o Ensino Fundamentado em Modelagem é dinâmico, um processo de aprendizado baseado na construção de modelos mentais que envolve a produção, teste e revisão de modelos mentais sobre fenômenos (BUCKLEY, 2000; GILBERT; JUSTI, 2016).

Logo, diante de tudo o que foi exposto, o presente trabalho envolveu a produção e realização de uma sequência didática para o ensino de Bioquímica e, a partir dela, foi realizada análise dos dados oriundos dos registros escritos – as respostas, os desenhos e esquemas discutidos coletivamente e feitos individualmente pelos estudantes – bem como de suas falas provenientes das discussões realizadas em grupo, que evidenciaram a expressão das considerações epistêmicas, a expressão das ideias sobre modelos e o processo de modelagem e metamodelagem. Com isso, buscamos compreender como ocorreu a LP dos estudantes durante as atividades propostas, não para apenas determinar níveis expressos da progressão, mas para analisá-la e discuti-la.

1.5. Uma breve revisão sobre modelos e EFM

Esta seção apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre o campo dos modelos e do Ensino Fundamentado em Modelagem no cenário do Ensino de Ciências no Brasil. Ela envolveu cinco das principais revistas científicas brasileiras de nível Qualis A: Ciência e Educação (A1), Investigações em Ensino de Ciências (A1), Alexandria (A2), Revista Brasileira em Educação e Ensino de Ciências (A1) e a Ensaio - Pesquisa e Educação em Ciências (A1), com as buscas compreendendo o período de 2018 a 2022.

O levantamento de obras publicadas na revista Ciência e Educação foi realizado através da plataforma Scielo e para as demais revistas foram realizados levantamentos diretamente em suas respectivas plataformas. Os termos de busca utilizados foram: “modelos”, “ensino fundamentado modelagem” e “model based

teaching”.

Inicialmente, pôde-se observar que muitas das publicações encontradas, apesar de estarem dentro do campo de pesquisa dos “modelos”, não atenderiam aos anseios do levantamento. Portanto, alguns critérios foram utilizados para seleção das produções, cujo foco foram artigos inseridos no contexto da educação básica. Assim, dados das revistas e das publicações encontradas foram plotados em uma tabela, em formato Excel®, que incluiu uma aba para cada revista. Cada aba incluiu o nome da revista, os termos de busca utilizados, o título do artigo, o ano de publicação, DOI, as palavras-chave e mais quatro campos, a saber: seleção por título, seleção por palavras-chave, seleção final e justificativa para a seleção ou rejeição da produção. A lista completa dos 113 artigos faz parte da bibliografia do presente trabalho.

O critério inicial utilizado para a seleção de artigos envolveu a comparação entre os termos do título e das palavras-chave. Com o intuito de encontrar maior número de produções, foram utilizados os termos “modelos”, “modelização”, “modelação”, “modelagem”, “ensino fundamentado em modelagem” e “model-based teaching”. Contudo, em alguns casos, houve produções que não apresentaram termos como os especificados, mas que foram incluídas na seleção, o que foi determinado pela análise do resumo da produção e pelo título indicar que o trabalho poderia estar dentro do campo. Outro critério utilizado para seleção de artigos foi a produção envolver educação básica. Portanto, artigos que envolveram formação de professores e educação superior foram excluídos. Assim, os critérios utilizados para a seleção dos trabalhos foram: título, palavras-chave, inserção no campo de estudos e obra relativa à educação básica.

Posteriormente, os artigos restantes tiveram seu resumo, introdução e metodologia analisados. Outros campos também foram observados, mas aqueles foram os principais. Essa etapa foi importante para que se pudesse entender detalhes dos trabalhos selecionados de modo a compor um breve panorama da área.

1.5.1. Resultados da pesquisa bibliográfica

No levantamento bibliográfico encontramos 113 artigos. Inicialmente, buscou-se pelo termo “modelos”, por se inferir que seria aquele que apresentaria maior

quantidade de resultados. A hipótese foi confirmada, encontrando 73 artigos totais para o termo. Em seguida, buscou-se pelo termo “ensino fundamentado modelagem”, tradução adaptada da expressão oriunda do inglês “model based teaching”. Infelizmente, contrariando as expectativas, a quantidade de trabalhos encontrados foi baixa, contando com apenas 4 produções. Vale ressaltar que dos trabalhos encontrados para o termo, apenas um não estava inserido nos demais termos de pesquisa. O gráfico abaixo evidencia a quantidade de produções encontradas por revista dentro do período de 2018 a 2022.

Em seguida, utilizou-se para o termo de busca “model based teaching”, para o qual esperava-se menos resultados quando comparado com o termo de busca “modelos”, porém maior quantidade de produções quando comparado com “ensino baseado modelagem”. A hipótese se confirmou e foram encontrados 36 artigos totais, o segundo maior número de trabalhos encontrados para os três termos pesquisados.

Quadro 7 – Quantidades totais de artigos por revista e termo de busca.

Revistas	**Termos de pesquisa**			**Total Geral**
	Modelos	**Ensino fundamentado modelagem**	**Model based teaching**	
Investigação em Ensino de Ciências	27	0	12	**39**
Ciência e Educação	12	0	11	**23**
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	11	3	7	**21**
Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	11	1	4	**16**
Revista Alexandria	12	0	2	**14**
Total Geral	**73**	**4**	**36**	**113**

Fonte: a pesquisa.

Termos de busca diferentes levaram, em alguns casos, aos mesmos artigos. A revista “Investigações em Ensino de Ciências” apresentou quatro repetições de artigos envolvendo os termos de busca “modelos” e “model based teaching”. A revista “Ciência e Educação” não apresentou repetições. A “Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências” foi a que apresentou mais repetições: três artigos repetidos para a busca por “modelos” e “model based teaching”, uma repetição para “ensino fundamentado modelagem”: era o mesmo artigo em dois idiomas distintos, português e inglês; e uma repetição tripla para os termos “modelos”, “model based teaching” e “ensino fundamentado modelagem”, ou seja, um mesmo artigo encontrado utilizando-se os três termos de pesquisa. A revista “Ensaio - Pesquisa em Educação

em Ciências” apresentou duas repetições para os termos “modelos” e “model based teaching”. A revista “Alexandria” apresentou apenas uma repetição para “modelos” e “model based teaching”, sendo também a revista com menor quantidade de publicações dentro do campo. Retiradas as redundâncias e obteve-se o resultado ilustrado pelo Quadro 8.

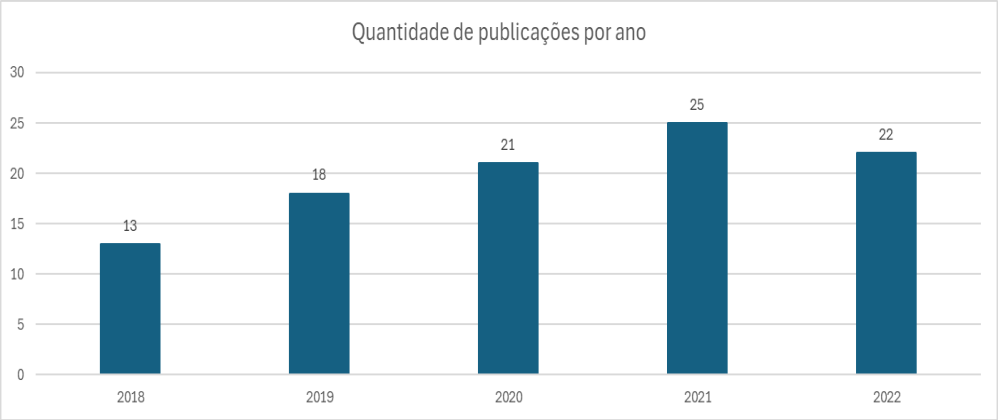
Quadro 8 – Quantidades totais de artigos por revista sem redundâncias.

Revistas	Total
Investigação em Ensino de Ciências	35
Ciência e Educação	23
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	15
Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	14
Revista Alexandria	13
Total	**100**

Fonte: a pesquisa.

Assim, o corpus sofreu uma primeira redução após a exclusão das redundâncias, restando, então, um universo de 100 artigos. Prosseguiu-se com a análise identificando a distribuição das publicações ao longo do período estipulado para o levantamento e pudemos identificar crescimento na quantidade de produções no campo desde o ano de 2018, com pico de publicações no ano de 2021, cuja quantidade ficou próxima, ainda que ligeiramente superior, à quantidade de publicações do ano de 2022, como pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Quantidade de artigos publicados por ano.



Fonte: a pesquisa.

O crescimento do número de trabalhos ao longo dos anos nas revistas analisadas evidencia aumento do olhar acadêmico brasileiro sobre a relevância da pesquisa no campo dos modelos e da modelagem na educação científica, tal como

apontado por Gilbert e Justi (2016).

Uma vez sanadas as redundâncias, procedeu-se com a seleção dos artigos conforme os critérios descritos, o que restringiu o corpus a 29 artigos, conforme ilustrado pelo Quadro 9 e pelo Gráfico 4. Em seguida, os 29 artigos tiveram seus resumos, introdução e metodologia analisados de modo que se pudesse identificar como o artigo abordaria o campo de estudos proposto, além de identificar semelhanças e diferenças entre as produções.

Quadro 9 – Quantidades totais de artigos por revista sem redundâncias.

Revistas	**Termos de pesquisa e nº de artigos selecionados**						**Total selecionado**
	Modelos	**Seleção**	**EFM**	**Seleção**	**MBT**	**Seleção**	
Investigação em Ensino de Ciências	12	5	0	0	11	0	5
Ciência e Educação	27	10	0	0	12	4	14
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	12	1	0	0	2	1	2
Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	11	3	3	1	7	0	4
Revista Alexandria	11	3	1	1	4	0	4
Total Geral	**73**	**22**	**4**	**2**	**36**	**5**	**29**

Fonte: o autor.

1.5.2. Organizando a bibliografia encontrada

Dentro do corpus final, Moreira (2020) não desenvolveu estudo diretos sobre a prática pedagógica da sala de aula no que tange o trabalho com modelos e modelagem, abordando modelos pedagógicos e a prática pedagógica mais ampla apoiado no que sua obra chama de “sistemismo de Mario Bunge”. Da mesma forma,

Silva e Almeida (2020) abordam em sua produção uma visão analítica sobre modelos na química a partir de trechos escritos pelo químico Niels Bohr: portanto, um estudo que avalia o campo dos modelos, mas não diretamente na prática didática docente. O trabalho de Macedo *et al.* (2020) segue o mesmo percurso de análise para os modelos atômicos. Silva e Ferreira (2020) e Silva *et al.* (2022) foram outros dois trabalhos cujo referencial teórico metodológico não se relaciona diretamente com o universo dos modelos e da modelagem na Educação Científica, ainda que possuam influência construtivista. Os trabalhos envolveram o campo do "modelo de reconstrução educacional" que é utilizado principalmente para o planejamento e criação de sequências didáticas e design de outros tipos de atividades e ambientes pedagógicos.

Considerando o trabalho com modelos, mas não necessariamente o trabalho com modelagem, destaca-se Nascimento e Bocchiglieri (2019), que abordaram o uso de modelos biológicos tridimensionais para o ensino de zoologia para estudantes com deficiência visual. Apesar de não ser um trabalho relacionado diretamente ao EFM, faz uso de modelos como objetos concretos, construtos, se relaciona diretamente à visão de modelo como representação. Prego e Puig (2016) trabalharam com a construção de modelos de expressão genética, mas com uma estrutura pré-formatada baseada em um kit. Seu estudo guarda algumas semelhanças com nossos referenciais teóricos, como o uso de um tema de ancoragem e a expressão dos modelos, mas não constituiu uma proposta de EFM.

Heidemann *et al.* (2018) abordam a modelagem didático-científica, que seria, segundo os autores, uma costura entre a Teoria dos Campos Conceituais, de Gerard Vergnaud, e a concepção epistemológica de Mario Bunge. Seu estudo durou treze aulas e guarda muitas semelhanças com a metodologia do EFM, principalmente em relação aos vértices do tetraedro do modelo de modelagem.

Miranda *et al.* (2022) também realizaram um trabalho com modelagem científica bastante interessante por abordar a ideia de transição progressiva de modelos explicativos, que buscou avaliar com estudantes do 1º ano do Ensino Médio a evolução conceitual por meio de modelos, que intitularam modelos explicativos, sobre a natureza das forças intermoleculares. Seu foco estava no assunto em si e no quanto as ideias dos estudantes se modificavam sobre ele durante a atividade.

Lago *et al.* (2020) apresentam um estudo que envolve produção de modelos científicos, que chama de modelo genético, e seu foco é a "ascensão do abstrato ao concreto". Eles trabalharam na pesquisa as fases da lua em uma sequência didática distribuída ao longo de cinco aulas que permitiram a construção de modelos e a

expressão dos vértices do tetraedro do modelo de modelagem. Ainda nesse cenário, Fernandes e Locatelli (2020) pesquisaram o conhecimento sobre os níveis representacionais na Química fazendo um levantamento de concepções de estudantes universitários, mas não se constituindo como um trabalho do campo dos modelos e da modelagem.

Já Santos (2020) desenvolve uma pesquisa sobre analogias no Ensino de Ciências. Seu foco foi a relação entre analogia modal e a Metodologia de Ensino com Analogia (MECA), mas em sua pesquisa ele não trabalha com modelagem científica, diferentemente de Mozzer e Justi (2018), cujo estudo está intimamente ligado ao Ensino Fundamentado em Modelagem. Em seu trabalho, as autoras discutem a relevância do papel das analogias para o Ensino de Ciências. No artigo, elas abordam quais seriam as etapas necessárias para o desenvolvimento de atividades de modelagem analógica e como essas etapas contribuem para a experiência dos estudantes com o raciocínio analógico. No estudo, elas abordam integralmente o modelo de modelagem e desenvolvem uma sequência didática sobre o tema de dissolução com uma turma do primeiro ano do ensino médio, apresentando importantes resultados em relação aos significados que, segundo as autoras, seriam "negociados" durante o processo de compreensão da entidade modelada na atividade. Essa sem mostrou uma das referências mais densas da nossa pesquisa bibliográfica diante do nosso campo de estudos.

Ainda no campo das analogias, Martins *et al.* (2020) avaliaram o papel dos modelos computacionais e das analogias no aprendizado do processo de interação fármaco-enzima. Essa produção também envolveu diretamente o EFM, tendo o tetraedro do modelo de modelagem como estrutural da atividade.

Machado e Fernandes (2021) apresentaram panorama bastante sólido sobre o campo dos modelos e modelagem no Ensino de Ciências, algo que é observado também em Fernandes *et al.* (2022), que buscou averiguar o conhecimento de estudantes de Biologia da educação básica acerca do conceito de modelos. O trabalho abordou a questão polissêmica dos modelos e seu resultado para o grupo analisado mostra a visão de modelos como representação. O trabalho também contextualizou os modelos e o processo de modelagem com a Teoria dos Campos Conceituais (TCC), de Vergnaud, algo que também foi abordado por Pantoja (2021), cujo trabalho incluiu analogias. Ainda a respeito dos campos conceituais, Machado e Braga (2020) relacionaram a teoria de modelos de Mario Bunge e a TCC, discutindo as relações entre ambas as teorias e sua relação com o campo da modelagem. O trabalho indica

possibilidade de articulação entre ambos os referenciais e enriquece a visão do campo dos modelos e da modelagem.

Outra importante contribuição foi o trabalho de Machado e Braga (2019), que aborda a proposta da Redescrição Representacional, apresentada pelos autores como uma teoria cognitiva desenvolvida pela psicóloga Karmiloff-Smith. Segundo os autores, essa teoria cognitiva oferece um quadro explicativo sobre como a mente humana explora e organiza o conhecimento de tal modo a possibilitar um auto enriquecimento. Tal produção se mostra bastante relevante, pois no trabalho com modelos e modelagem o educador necessariamente observa com maior nível de atenção e cuidado as atividades planejadas, e sua produção é focada na experiência do estudante. Portanto, o trabalho traz uma importante contextualização que, como uma rede, reforça o campo estudado.

Considerando os modelos mentais como parte importante do trabalho com modelos e modelagem, destacam-se os trabalhos de Duran e Garcia (2020), Pessanha (2018) e Rodrigues e Gabin (2022).

O levantamento bibliográfico realizado indicou que o campo dos modelos e da modelagem na Educação Básica no Brasil já exibe produções sólidas e experimenta crescimento, não só na Educação Básica, como também no Ensino Superior. Isso fica evidente diante dos resultados encontrados na pesquisa bibliográfica que, pela polissemia do termo “modelo”, acabou incluindo nos resultados muitas frentes de estudo e análise, reduzindo o corpus de cem para vinte e nove artigos ao final da revisão.

Como conclusão, percebe-se que a construção de modelos não se dá somente pelo referencial teórico do EFM. Outros referenciais buscam também trabalhar a construção de modelos científicos, discutindo sua importância para a educação, mesmo com expressões e metodologias de trabalho diferentes, mas que guardam semelhanças estruturais com o processo que envolve a criação, expressão, teste e avaliação do EFM. Em todo caso, fica claro que, independente da linha ou abordagem, a base para todas as metodologias envolve processos cognitivos ligados à aprendizagem e, nesse cenário, as analogias constituem parte muito importante, complexa, e intimamente relacionada aos modelos e ao processo de modelagem científica. Assim, conclui-se que o campo dos modelos e da modelagem no ensino básico se mostra consolidado, apesar de exibir ainda muito potencial a ser explorado.

2. Metodologia da pesquisa

2.1. Questão de pesquisa

Considerando os potenciais do EFM, o presente estudo buscou avaliar sua implementação dentro do planejamento pedagógico de um trimestre de aulas de Biologia de uma turma de trinta e dois alunos do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola particular do Rio de Janeiro.

O desenho do estudo levou em consideração o nível de importância, a dificuldade e a complexidade do aprendizado de Bioquímica, especificamente a produção de proteínas, ponto chave para a compreensão de muitos conceitos dentro da Biologia. Optou-se pela integração dos referenciais teóricos apresentados por acreditar-se que a combinação de atividades criadas pela perspectiva do EFM, das EIP e da LP pudesse contribuir para que o ensino de Biologia e para que o campo dos modelos e da modelagem fossem bem explorados, enriquecendo o processo de ensino e aprendizagem e ampliando as perspectivas dos estudantes.

Dessa forma, o presente estudo buscou compreender como ocorreu a progressão de aprendizagem de um grupo de estudantes em uma turma do 1o ano do Ensino Médio durante o desenvolvimento de uma proposta de Ensino Fundamentado em Modelagem sobre a síntese proteica.

2.2. Abordagem metodológica

Para alcançar os objetivos propostos, o presente estudo consistiu numa pesquisa aplicada, considerando a "*aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica*" (GIL, 2022, p. 26). Foi elaborado um estudo de caso que fez uso de métodos mistos, considerando sua busca por interpretar a atribuir significado aos dados obtidos de forma qualitativa, mas também a interpretação de dados numéricos oriundos das amostras (GIL, 2022). A pesquisa pode ser ainda classificada como exploratória e descritiva, pela busca por perceber dados não

explícitos, levantando o maior número de informações possíveis que têm como finalidade ampliar o conhecimento acerca de nosso objeto de pesquisa (GIL, 2022). Além disso, procurou-se descrever suas principais características, identificar e estabelecer relações entre suas variáveis, analisando os dados buscando interferência mínima do pesquisador visto ser esse também é o professor da turma (GIL, 2022; PRODANOV; FREITAS, 2013).

Para a obtenção de dados, foi realizada uma sequência didática com seis encontros presenciais, distribuídos ao longo de um mês, cada um com duração de quarenta e cinco minutos. Os encontros ocorreram com a turma completa e permitiram a construção do estudo de caso, já que buscou-se investigar um fenômeno de maneira aprofundada dentro de um contexto específico, a fim de conhecê-lo de forma ampla e detalhada (GIL, 2022; PRODANOV; FREITAS, 2013). Esse estudo de caso acompanhou um grupo de estudantes, formado por quatro indivíduos, e proporcionou a coleta de alguns tipos de dados: escritos – obtidos a partir dos registros individuais dos estudantes nos roteiros das atividades; áudios das falas dos participantes – gravados durante a realização das atividades e fotografias dos produtos de conhecimento (modelos) – produzidos pelos participantes. Todos os dados foram analisados à ótica dos referenciais teóricos discutidos anteriormente.

Durante a pesquisa, buscou-se apresentar aos estudantes o universo dos modelos e da modelagem científica, proporcionando a eles o desenvolvimento das concepções de modelagem e metamodelagem. Além disso, buscou-se também realizar atividades baseadas em modelagem, desenvolvendo gradativamente conceitos biológicos acerca do conteúdo de ácidos nucléicos, com foco na síntese proteica, além de identificar e categorizar as etapas alcançadas por eles na LP no EFM considerando sua experiência durante os encontros.

2.3. Contexto da pesquisa e dos participantes

A pesquisa foi realizada em uma instituição privada de Educação Básica situada na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro. A escolha do local se deu por alguns fatores. O primeiro, por ser um dos locais em que o pesquisador trabalha regularmente. Além disso, a instituição é conhecida por ter um Projeto Político-

Pedagógico que busca o desenvolvimento do pensamento crítico, da autonomia e de princípios éticos em seus estudantes, para que sejam capazes de desenvolver e repensar a realidade do mundo. Para esse fim, a instituição goza de excelente infraestrutura e oferece grande diversidade de recursos, metologias e tecnologias educacionais, além de garantir autonomia de trabalho para seu corpo docente. A consequência é um corpo discente bastante engajado em seu processo de ensino e aprendizagem.

A pesquisa ocorreu em uma turma de 32 estudantes de uma turma do 1º ano do Ensino Médio. A escolha do público-alvo considerou sua experiência com trabalhos em grupo e com projetos de pesquisa desde os anos finais do Ensino Fundamental. Além disso, acredita-se que a idade média do grupo, cerca de 15 anos, permitiria maior grau de elaboração da proposta e comprometimento com o desenvolvimento da atividade. Outro ponto relevante foi o conteúdo abordado nas atividades, que é de grande complexidade e importância na formação básica, e que em muitos casos é negligenciado ou trabalho de forma superficial na série em questão.

Inicialmente, a turma foi dividida em grupos de até seis integrantes cada. Com base em Cohen e Lotan (2017), essa organização dos grupos foi realizada pelo pesquisador, que sendo professor da turma pelo segundo ano consecutivo, conhecia bem os indivíduos e suas particularidades. Os critérios aplicados a divisão dos grupos buscou a inclusão dos indivíduos, de forma a garantir a participação equilibrada de todos na atividade, evitando a formação das populares “panelas”, que são os grupos que se formam espontânea e constantemente em atividades coletivas. Isso equilibrou as forças e potencialidades dos integrantes de cada coletivo garantindo sinergia entre os potenciais dos participantes.

Considerando a complexidade e profundidade que um estudo de caso exibe e a quantidade de dados gerados nessa pesquisa, um grupo específico foi selecionado para compor o estudo. Para a seleção desse grupo de trabalho alguns critérios foram adotados. O primeiro foi o de preenchimento dos documentos de consentimento para participação na pesquisa pelos responsáveis e pelos próprios estudantes. O segundo foi a presença e assiduidade, nos encontros, que buscou os indivíduos com maior taxa de presença. O terceiro critério foi o engajamento na proposta, medido pelo percentual de preenchimento dos roteiros, visando a obtenção de maior quantidade de materiais para análise. E, por fim, um dos principais aspectos foi o nível de elaboração das respostas e dos modelos construídos. Ou seja, buscou-se por estudantes que apresentassem mergulho mais profundo na proposta, não só nas suas construções

individuais, mas nas discussões e interações com os colegas do grupo durante os momentos das atividades. O resultado foi a delimitação de um grupo de trabalho com quatro estudantes que foram numerados de 1 a 4 e identificados no estudo como E1, E2, E3 e E4 de modo que se garantisse seu anonimato.

A pesquisa foi integrada ao projeto pedagógico desenvolvido com as turmas do 1º ano do EM e realizada durante o mês de novembro de 2024 ao longo de seis encontros presenciais. A realização das atividades ao longo do referido período envolveu principalmente adequação ao calendário de atividades da escola, de modo a minimizar os impactos sobre o planejamento criado no ano anterior pela equipe de Ciências e Biologia.

2.4. Aspectos éticos da pesquisa

Esta pesquisa buscou comunicação com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) e à Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) para garantir a ética em todas as suas etapas. Todas as fases da pesquisa seguiram os princípios éticos, assegurando o respeito e a proteção aos participantes.

Para assegurar a privacidade dos participantes, todos os dados coletados foram anonimizados. As informações foram codificadas para evitar a identificação dos alunos e suas respostas foram analisadas protegendo suas identidades. Somente os pesquisadores que estão diretamente envolvidos no estudo tiveram acesso aos dados originais e receberam orientações estritas sobre a necessidade de preservar a confidencialidade.

Os participantes e seus responsáveis conheceram todas as informações acerca do projeto antes de sua realização, como os objetivos, os métodos, riscos e vantagens do estudo. Foi requerido que os responsáveis pelos estudantes, todos menores de idade, assinassem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e que os próprios estudantes assinassem o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE). É crucial salientar que os participantes e/ou seus responsáveis tiveram a liberdade de revogar o consentimento a qualquer momento durante a pesquisa, sem prejuízos para os alunos. Aqueles que optaram por não participar ou que retiraram seu consentimento ainda puderam engajar-se nas atividades

educacionais planejadas, porém seus dados não foram utilizados na pesquisa.

Três foram os documentos essenciais para a participação na pesquisa:

- Termo de Autorização Institucional (TAI) (Anexo 1), que se destina à instituição de ensino;
- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Anexo 2), destinado aos responsáveis dos estudantes, considerando se tratar de menores de idade;
- Termo de Assentimento Livre Esclarecido (TALE) (Anexo 3), destinado aos próprios estudantes, que deveriam consentir a participação, ainda que os responsáveis tenham assinado o TCLE.

O critério para a inclusão de participantes foi a assinatura do TCLE e do TALE e foram excluídos da pesquisa os estudantes cujos responsáveis, ou eles mesmos, se recusaram a assinar os referidos documentos.

2.5. Procedimento de coleta de dados

As atividades se estenderam por um mês e a coleta de dados foi processual, ocorrendo ao longo de seis encontros presenciais.

As seis atividades propostas foram divididas em três blocos. O primeiro bloco continha três atividades cujo foco era a ambientação dos estudantes ao campo dos modelos e da modelagem científica. O segundo bloco envolveu duas atividades biológicas, que conduziram os estudantes pelo processo de modelagem na Biologia. O terceiro bloco envolveu a última atividade, cujo foco foi a análise dos modelos e da modelagem.

Os roteiros dos encontros constituíram o instrumento de coleta de dados. Suas instruções organizaram os passos e ações dos educandos e proporcionam registro de seus esforços e reflexões por meio de texto produzido individualmente após discussão coletiva. Em outras palavras, foram apresentadas questões, cujas respostas colaboraram para a ambientação e recortes do conteúdo, além de comandos específicos que relacionavam as perguntas com a produção de modelos.

Todos os roteiros foram preenchidos à mão pelos estudantes e entregues ao professor ao final de cada encontro. Posteriormente, o professor realizou a transcrição

das respostas utilizando uma combinação do recurso “digitação por voz”, do software Microsoft Word®, com a digitação direta. Todas as transcrições foram realizadas integralmente como apareceram nos roteiros, incluindo os erros ortográficos, erros de pontuação e redundâncias feitas pelos estudantes de modo a garantir a originalidade dos textos. Já os modelos foram fotografados pelo pesquisador com celular e as imagens foram editadas no aplicativo Microsoft Paint®, mas não tiveram seu conteúdo alterado. Em seguida, as imagens foram organizadas junto dos textos e incorporadas em documentos individuais para cada estudante.

2.6. Análise dos dados

Os dados escritos, as respostas registradas nos roteiros, bem como os modelos produzidos, foram o alvo da análise de conteúdo. Na fase preliminar, todos os textos e produções foram separados e organizados por atividade e cada roteiro dos trinta e dois estudantes foi lido integralmente, o que permitiu selecionar o grupo que comporia o estudo de caso. Buscou-se que todos os documentos incluídos na amostra fossem considerados representativos e pertinentes aos objetivos da análise e a partir desses foram determinadas as unidades de análise.

A delimitação das unidades de análise ocorreu pela identificação de informações semanticamente comuns que se destacaram nos textos/modelos que se alinharam a uma das dimensões presentes no quadro de categorias. As categorias foram propostas *a priori* e são abaixo descritas e discutidas. Inicialmente, cada resposta compôs uma unidade de análise, assim como cada modelo construído foi também considerado uma unidade de análise.

Eventualmente, quando uma resposta tinha mais de uma frase e ambas, juntas, estavam dentro do mesmo campo semântico, compuseram uma única unidade de análise. Quando cada frase apresentava significados diferentes, optou-se por dividi-las em mais de uma unidade de análise, de modo a se garantir a exclusividade. Em alguns poucos casos, um período separado por vírgulas deu origem a mais de uma unidade de análise, sempre sendo determinado pelo aspecto semântico. Ou seja, o critério principal foi: o que o aluno “quis dizer ou disse” em um período foi a mesma coisa que ele “quis dizer ou disse” no outro período? Diante de uma resposta negativa,

optou-se por separar o texto em mais unidades. A seguir destacam-se dois exemplos oriundos da primeira atividade que ilustram os critérios adotados para definição das unidades de análise. Os trechos sublinhados colaboram para a delimitação do aspecto semântico.

Quadro 10 – Definição de unidades de análise

Texto	Critérios
“Sim, representa um modelo, pois representa cientificamente os componentes químicos da água. (Unidade 1) Mesmo que não seja água literal. (Unidade 2)”.	O texto é composto por dois períodos. Em ambos a ideia de representação está expressa, mas de formas diferentes. Na primeira unidade o estudante delimita uma “representação científica” e na segunda ele delimita uma representação “literal”.
“Não, pois não representa uma imagem da água, (Unidade 3) Ao olhar, você não imagina diretamente a água, mas sim as letras. (Unidade 4)”.	O texto é composto por duas partes. Em ambas a ideia de representação se destaca, mas na primeira o trecho “representa uma imagem” restringe o nível da representação que na segunda, por essa incluir a palavra “imagina”, é ampliado, relacionando a molécula de água às letras que representam a fórmula estrutural plana. São interpretações diferentes.

Fonte: a pesquisa.

Uma vez definidas nossas unidades de análise, realizou-se a codificação do material. Os critérios para criação do código para cada unidade foram: o número da atividade, seguido do número do estudante e do número da questão avaliada. Quando a partir de uma resposta mais de uma unidade de análise foi identificada, conforme os critérios acima expostos, utilizou-se letras em ordem alfabética para compor o final do código. Exemplo: “A1E1Q1A” foi o código estabelecido para a unidade de análise referente à Atividade 1, do Estudante 1, Questão 1, e sua primeira unidade de análise (A). Quando uma resposta ou frase não foi dividida em mais de uma unidade de análise, essa não apresentava a letra ao final da estrutura de seu código.

A codificação dos modelos seguiu a mesma lógica: primeiro a determinação do número da atividade, seguida da identificação do estudante, e ao final a letra “M”, de “modelo”. Exemplo: “A4E1M” foi o código estabelecido para o modelo referente à

Atividade 4 do Estudante 1, que contou com apenas um modelo.

Para a “Atividade 5”, que foi dividida em duas partes, o código de cada unidade de análise levou em consideração: o número da atividade, o número da parte (um ou dois), número do estudante, e a identificação do modelo, exemplo: “A5E1P1M” – Atividade 5, Estudante 1, Parte 1, Modelo; e “A5E1P2M” – Atividade 5, Estudante 1, Parte 2, Modelo. Ela contou ainda com quatro perguntas, cujas respostas compuseram também unidades de análise e o critério para sua codificação foi: número da atividade, número do estudante, identificação da parte, no caso parte dois, e número da questão, exemplo: “A5E1P2Q1” – Atividade 5, Estudante 1, Parte 2, Questão 1. Para os casos em que uma resposta foi dividida em mais de uma unidade de análise, adotou-se o mesmo critério anterior, acrescendo letras em ordem alfabética ao final de cada código.

Após a unitarização e codificação, seguiu-se para a categorização. Como mencionado, o trabalho partiu de categorias propostas *a priori*. Nenhuma categoria emergiu dos dados analisados. Trabalhou-se com duas dimensões, que contam com quatro categorias cada, organizadas a partir do trabalho de Schwarz *et al.* (2009): a “Dimensão 1” (D1), que envolve “*Uma progressão de aprendizagem para compreender modelos como ferramentas geradoras para predição e explicação*” (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 640, tradução nossa) e a “Dimensão 2” (D2), que envolve “*Uma progressão da aprendizagem para o entendimento de modelos como entidades mutáveis*” (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 647, tradução nossa). Cada nível é descrito por um texto que o define individualmente e com o qual se relacionam as unidades de análise. Buscou-se, com isso, garantir a objetividade, que se justifica já que “*quando um conjunto de categorias é objetivo, as regras de classificação são explicitadas com suficiente clareza, de modo que possam ser aplicadas consistentemente ao longo de toda a análise*”. (MORAES, 1999, p. 8) A preocupação com a categorização contribuiu para que a classificação não fosse afetada pela subjetividade do avaliador, uma vez que ela garante que permite que diferentes pesquisadores cheguem a resultados semelhantes por caracterizarem as unidades de conteúdo a partir das mesmas regras de classificação (MORAES, 1999). Originalmente, Schwarz *et al.* (2009) trabalham com dois quadros, Quadro 5 e Quadro 6, expostos anteriormente, cada um dividido em quatro níveis. A organização de seus quadros segue do nível mais elaborado da progressão para o nível mais básico. Nesta pesquisa, essa sequência foi invertida, partindo do nível mais básico para o mais elaborado, e foi realizada tradução literal dos textos dos autores, mantendo seu significado. Os quadros a seguir apresentam as

duas dimensões, a descrição de cada nível da progressão e um texto síntese para cada um, que colaborou para o processo de categorização.

Quadro 11 – Categorias (níveis) da Dimensão 1

Nível	Dimensão 1 Modelos como ferramentas para prever e explicar	
	Descrição	**Texto síntese para o nível**
1	Os alunos não vêem um modelo como uma ferramenta para gerar novos conhecimentos, mas vêem modelos como um meio de mostrar outros, como é o fenômeno. Os alunos **constroem** e **usam** modelos que mostram ilustrações literais de um único fenômeno.	O modelo serve para mostrar/ilustrar literalmente como é o fenômeno.
2	Os alunos vêem os modelos como um meio de comunicar a sua compreensão de um fenômeno, em vez de uma ferramenta par apoiar seu próprio pensamento. Os alunos **constroem** e **usam** um modelo para ilustrar e explicar como um fenômeno ocorre, consistente com as evidências sobre o fenômeno.	O modelo serve para comunicar a compreensão sobre o fenômeno, consistente com as evidências.
3	Os alunos vêem modelos como ferramentas que podem apoiar seu pensamento sobre fenômenos novos e existentes. Os alunos consideram alternativas na **construção** de modelos com base na análise das diferentes vantagens e fraquezas para explicar e prever que esses modelos alternativos possuem. Os alunos **constroem** e usam vários modelos para explicar e prever mais aspectos de um grupo de fenômenos relacionados.	Os modelos apoiam o pensamento e mais modelos podem ser construídos/usados/relacionados para explicar e prever fenômenos.

4	Os alunos consideram como o mundo poderia se comportar de acordo com vários modelos. Os alunos **constroem** e **usam** modelos para gerar novas questões sobre o comportamento ou existência dos fenômenos. Os alunos **constroem** e **usam** modelos espontaneamente em vários domínios para ajudar seu próprio pensamento.	Construção/uso espontânea/o de múltiplos modelos como ferramentas para interpretação do mundo e geração de novas questões, sempre apoiando o seu pensamento.

Fonte: SCHWARZ *et al.* 2009, p. 640, tradução e adaptação nossa.

Quadro 12 – Categorias da Dimensão 2

Nível	**Dimensão 2** **Modelos como entidades mutáveis**	
	Descrição	**Texto síntese para o nível**
1	Os alunos **comparam** seus modelos para avaliar se são réplicas boas ou más do fenômeno. Os alunos não esperam que os modelos mudem com novos entendimentos, eles falam sobre modelos em termos absolutos de respostas certas ou erradas.	Modelos seriam réplicas absolutas do fenômeno, sendo corretos ou errados.
2	Os alunos fazem modificações para melhorar o detalhe, a clareza ou adicionar novas informações, sem considerar como é melhorado o poder explicativo do modelo ou o seu ajuste com evidência empírica. Os alunos **revisam** modelos com base em informações provenientes de autoridades (professor, livro didático, colegas) em vez de evidências coletadas do fenômeno ou em novos mecanismos explicativos.	Modelos podem mudar, mas para aumentar o detalhamento, sem melhorar seu poder explicativo, sendo revisados pela autoridade.
3	Os alunos **comparam** modelos para ver como diferentes componentes ou	Modelos são comparados e revistos para melhorar seu poder explicativo

	relações se ajustam às evidências de forma mais completa e fornecer uma explicação mais mecanicista dos fenômenos. Os alunos **revisam** modelos para melhor ajustar as evidências obtidas e melhorar a articulação de um mecanismo no modelo. Assim, **os modelos são revisados** para melhorar seu poder explicativo.	do fenômeno estudado.
4	Os alunos **avaliam** modelos concorrentes para considerar a combinação de aspectos de modelos que podem melhorar a explicação e poder preditivo. Os alunos **consideram mudanças** nos modelos para aumentar o poder explicativo antes de obterem evidências que apoiem essas mudanças. As mudanças no modelo são consideradas para desenvolver questões que podem então ser testadas em relação às evidências dos fenômenos.	Modelos concorrentes são avaliados, podendo haver combinação de aspectos para melhorar explicação e previsão. Modelos podem ser modificados antes da obtenção de evidências – desenvolvimento de questões a partir do modelo que podem ser testadas.

Fonte: SCHWARZ *et al.* 2009, p. 647, tradução e adaptação nossa.

De forma geral, analisando-se os textos dos níveis da D1 percebe-se bastante o destaque dos verbos “construir” e “usar”, destacados em negrito no Quadro 11, o que associado à definição da D1: “*... modelos como ferramentas geradoras para predição e explicação*” (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 640, tradução nossa). Isso indicaria maior, mas não exclusiva, relação da D1 com os elementos da prática. Já para a D2, percebe-se bastante a presença de verbos como “comparar”, “revisar” e avaliar”, também destacados em negrito no Quadro 12, o que associado à definição da D2: “... modelos como entidades mutáveis”, indicaria maior, mas também não exclusiva, relação da D2 com o conhecimento em metamodelagem.

De forma mais específica, a expressão da Dimensão 1 estaria associada aos mecanismos internos do modelo que proporcionariam progressivamente: a apresentação e a explicação do fenômeno, seguidas da construção/uso do modelo

como apoiador do pensamento e como ferramenta para predição. Logo: em seu primeiro nível o modelo mostra/ilustra o fenômeno; em seu segundo nível o modelo comunica a compreensão do fenômeno, explica-o; em seu terceiro nível os modelos apoiam o pensamento para explicar fenômenos existentes e novos e mais modelos podem ser usados para explicar e prever fenômeno(s); em seu quarto nível, o estudante já teria se apropriado da visão de modelos como artefatos epistêmicos à medida que considera "*como o mundo se comportaria por meio de vários modelos*" (SCHWARZ *et al.* 2009, p.640) usando os modelos para apoiar seu pensamento e para produzir novas questões, o que estaria associado à previsão e à consideração epistêmica "generalização".

Já a Dimensão 2 estaria associada à ideia de mudança que os modelos podem sofrer de acordo com o entendimento sobre os fenômenos. Em seu primeiro nível, os modelos são vistos apenas como réplicas dos fenômenos estudados e não há percepção de que possam ser modificados de acordo com novas perspectivas acerca do fenômeno estudado. Em seu segundo nível, já se percebe a ideia de que os modelos podem mudar, mas a concepção ainda é a de modelo como uma entidade absoluta, que pode apenas ser mais detalhada através do acréscimo de novas informações. Essas novas informações não seriam provenientes necessariamente dos dados, mas da autoridade, de agentes externos, como o professor ou livros. No terceiro nível, os modelos são comparados e revisados para melhorar seu poder de explicação. No quarto nível, modelos concorrentes são avaliados e podem ser combinados para melhorar a explicação e previsão e as mudanças consideradas colaborariam para o desenvolvimento de questões que podem ainda ser testadas.

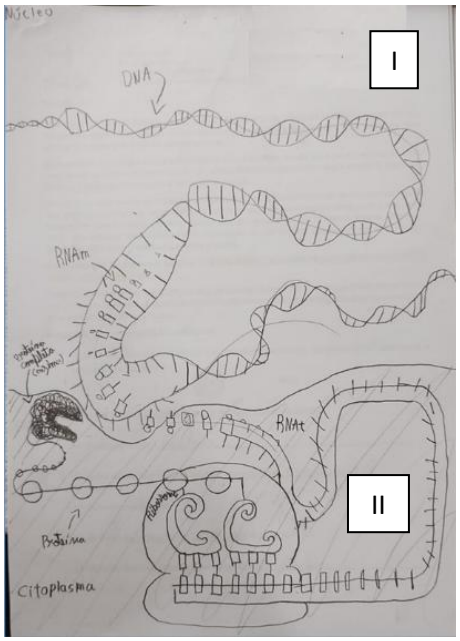
Isso posto, a fim de buscarmos o princípio da exclusividade, duas perguntas foram aplicadas a todas as unidades de análise. A primeira foi: "essa unidade de análise ilustra uma concepção do estudante em relação ao poder de explicação e previsão de um modelo construído por ele?" e a segunda foi: "essa unidade de análise ilustra o pensamento do estudante acerca dos modelos como entidades mutáveis, podendo ser oriundo de um modelo construído ou não por ele?". A resposta positiva para uma das perguntas delimitou a dimensão. Em seguida, a unidade de análise era comparada com o texto síntese de cada um dos níveis da dimensão em que foi alocada e, por fim, a descrição integral colaborava para a ratificação da alocação da unidade de análise no nível. A Figura 4 e o Quadro 13 a seguir apresentam os critérios aplicados para o processo de categorização das unidades de análise em uma das dimensões e em seu respectivo nível/categoria.

1. Resposta – Texto/Modelo
2. Com qual dimensão se relaciona o Texto/Modelo?
3. Com qual descrição/nível se alinha o Texto/Modelo?
4. Determinação do nível de progressão = categoria

Figura 4 – Processo de categorização das unidades de análise.

Fonte: o autor.

Quadro 13 – Exemplo da delimitação de unidades de análise nas dimensões

Modelo/Texto	Unidades de Análise	Direcionamento	Dimensão
	A4E3M	O produto de conhecimento se relaciona à ideia de modelo para explicar e prever algo? (Dimensão 1) O produto de conhecimento se relaciona a ideia de modelo como “entidades mutáveis”? (Dimensão 2)	D1

“Revisar é sempre importante pois nos permite entender nossos erros e adicionar informações. (A5E1P2Q4A) Isso se aplica diretamente com as mudanças que podem ser feitas nele através das informações adquiridas.” (A5E1P2Q4B)	A5E1P2Q4A A5E1P2Q4B		D2

Fonte: o autor.

No quadro acima, a primeira unidade de análise, A4E3M, é um dos modelos construídos na Atividade 4. Ele se divide em duas partes, indicadas por algarismos romanos, sendo a primeira uma representação do núcleo da célula eucarionte e, a segunda, do citoplasma. De forma resumida, pode-se dizer que seu intuito é explicar o processo de síntese proteica, portanto, D1. Já em A5E1P2Q4A e A5E1P2Q4B, os textos indicam que mudanças podem ser feitas no modelo a partir da revisão e de novas informações, portanto, D2.

É importante destacar que, além da objetividade, outros três princípios da análise de conteúdo também receberam atenção durante a produção das categorias do estudo: a exaustividade, a homogeneidade, e a exclusividade. A exaustividade ou inclusividade é importante porque “*cada conjunto de categorias deve ser exaustivo, no sentido de possibilitar a inclusão de todas as unidades de análise, não devendo restar qualquer dado significativo que não possa ser classificado*”. (MORAES, 1999, p. 7) O princípio da homogeneidade considera que para as categorias “*Sua organização deve ser fundamentada em um único princípio ou critério de classificação*”. (MORAES, 1999, p. 7) E a exclusividade ou exclusão mútua preconiza que cada dado deve ser alocado em apenas uma categoria, de forma exclusiva:

> “o mesmo dado não pode ser incluído em mais de uma categoria, ou seja, cada elemento ou unidade de conteúdo não pode fazer parte de mais de uma divisão. Dessa forma, um conjunto de categorias precisa atender ao critério da exclusividade, ou seja, sendo construído um conjunto de regras de classificação bem precisas e claras.” (MORAES, 1999, p. 7)

Portanto, cada unidade de análise foi comparada com as categorias propostas e alocada em algum nível de uma das dimensões. Seguindo o princípio da exclusividade, buscou-se que nenhuma unidade fosse alocada em mais de uma categoria. Contudo, é importante ressaltar que os dados fornecem clareza sobre as dimensões da progressão e permitem a distinção entre diferentes níveis de desempenho dos alunos, mas não têm a intenção de testar um currículo específico ou validar uma abordagem de ensino, mas demonstrar os tipos de desempenho e compreensão em modelagem que os alunos podem alcançar com o suporte adequado (SCHWARZ *et al.* 2009).

Portanto, foram alcançados resultados quantitativos, com identificação da frequência dos níveis das categorias, mas destaca-se que a principal busca foi pelo componente qualitativo, fundamental para a análise, garantindo que o estudo não fosse uma mera alocação de unidades textuais em tabelas e quadros. Logo, a abordagem utilizada levou em consideração o conteúdo manifesto, mas leva também em consideração o conteúdo latente de todos os dados obtidos através da pesquisa. Isso porque a análise de conteúdo do nível manifesto é restrita ao que é dito, sem busca por significados ocultos, ao passo que, em relação ao nível latente, o pesquisador procura captar sentidos implícitos (MORAES, 1999). Isso foi feito ao se analisar as unidades de análise oriundas dos textos dos estudantes. Mas, destaca-se que o trabalho exibiu, além da dimensão objetiva, uma subjetiva, já que houve subjetividade nos escritos, havendo interpretações a partir de tais conteúdos em situações do tipo “ele(a) quis dizer isso”.

2.7. Descrição das atividades

As atividades propostas se dividem em três grupos. O primeiro engloba as atividades de número um a três e buscou introduzir os estudantes no universo dos modelos e da modelagem. O segundo engloba as atividades de número quatro e cinco e envolveu o uso e produção de modelos para trabalhar a bioquímica da síntese de proteínas. A última atividade, número seis, trabalhou a metamodelagem, buscando avaliar a compreensão dos alunos sobre os modelos e sobre a modelagem realizada. O quadro a seguir evidencia a relação das atividades propostas com o diagrama de modelagem.

Quadro 14 – Relação das atividades com o diagrama de modelagem

Atividade	Objetivo da Atividade	Ensino Fundamentado em Modelagem
1. Modelos	Discutir importantes aspectos dos modelos quanto a sua natureza, objetivo, limitações, previsibilidade e finalidade.	Experiência com o universo dos modelos.
2.Modelagem	Familiarização com o processo de modelagem científica.	Experiências com o universo da modelagem, incluindo suas etapas – criação, expressão, teste e avaliação.
3. Analogias	Apresentação ao conceito de analogia. Analisar uma analogia com a turma.	Experiência com analogias dentro do universo da modelagem.
4. Síntese proteica	Construir um modelo de síntese proteica para ser usado com os alunos “do ano que vem”.	Experiências com o universo da modelagem, incluindo suas etapas – criação, expressão, teste e avaliação.
5. *Neurospora crassa*	Realizar o experimento com o fungo e, através de seus resultados, construir e revisar modelos.	Experiências com o universo da modelagem, incluindo suas etapas – criação, expressão, teste e avaliação.
6. Refletindo sobre os modelos	Refletir sobre todos os modelos produzidos ao longo das atividades.	Experiência com a metamodelagem ao analisar todos os modelos produzidos e o processo de modelagem realizado durante as atividades.

Fonte: o autor.

As duas primeiras atividades são adaptações de Mendonça (2008). Na “Atividade 1 – Modelos”, os estudantes foram expostos a exemplos visuais e deveriam determinar quais acreditavam poderem ser classificados como modelos e quais não. A concepção de modelos desta pesquisa se alinha à de Tarja Knuutilla, Gilbert e Justi, Morgan e Morrison, entre outros, de modo que não os percebemos exclusivamente dentro da esfera representacional, pois seria limitar seu potencial de produção,

interpretação e utilização. Percebemos, portanto, modelos como artefatos epistêmicos. Diante dessa perspectiva, dez imagens foram apresentadas à turma e, para cada uma, três comandos se seguiram: (1) “O que você vê na imagem?”, “Você classificaria como modelo?”, com possibilidades de resposta “Sim” ou “Não”, e “Justificativa”, para que se pudesse compreender o motivo da classificação realizada pelo estudante.

Assim, os integrantes do grupo avaliaram os exemplos apresentados, que não envolveram apenas exemplos biológicos. Isso buscou explorar as múltiplas definições de modelo e, após discussão coletiva em seus grupos, os alunos preencheram o roteiro individualmente. Com os roteiros preenchidos, o professor discutiu com a turma, pela perspectiva de modelos como artefatos epistêmicos, o que cada imagem poderia representar, justificando sua classificação e abordando o caráter polissêmico dos modelos, bem como sua importância e relação com a Ciência. As justificativas foram categorizadas de acordo com nossas dimensões e níveis, ainda que não tenha ocorrido a produção de modelos nessa atividade. Assim, buscou-se perceber, além da visão de modelos dos estudantes, em que nível das duas dimensões ela poderia se encaixar. É importante destacar que, como visto em Schwarz *et al.* (2009) e Berland *et al.* (2015), é comum em trabalhos de EFM os registros das atividades serem coletivos, com os próprios modelos sendo discutidos e construídos coletivamente. Optou-se, no entanto, por uma via diferente de trabalho, mantendo as discussões coletivas, mas coletando os registros individualmente. Isso permitiu identificar as dimensões e níveis da LP expressos por cada estudante por atividade e, então, comparar a progressão individual ao longo da sequência didática.

Na “Atividade 2 – Modelagem”, os grupos receberam uma caixa de papelão lacrada, opaca, que contava com objetos em seu interior. Eles deveriam compartilhar a manipulação da caixa e, seguindo o roteiro, criar hipóteses para explicar o que acreditavam estar em seu interior e qual a natureza do ou dos materiais ali presentes. Às observações seguiram testes, que incluíram o uso de um forte ímã, permitindo a identificação de variáveis de entrada e saída disponíveis para sistema analisado, exatamente como ocorre com a caixa negra de Bunge (1974). O objetivo central da atividade foi indutivamente trabalhar a modelagem com os estudantes, que construíram modelos através do estudo das caixas.

A “Atividade 3 – Analogias” não foi realizada dentro do escopo da pesquisa, não tendo contribuído para coleta de dados para o projeto. Ela, no entanto, foi importante por trabalhar o conceito de “analogias” com a turma, colaborando, inicialmente, para que o próprio professor-pesquisador amadurecesse a sua visão

sobre a construção e uso de analogias, que percebeu que sua aplicação exige maior cuidado e responsabilidade do que a maioria dos professores possa imaginar. Segundo Mozzer e Justi (2018), há escassez de estudos sobre o papel criativo das analogias no Ensino de Ciências, com a maioria dos trabalhos brasileiros e estrangeiros focando na função explicativa das analogias para o esclarecimento de aspectos dos conteúdos estudados por meio de comparações com um domínio análogo. Segundo as autoras, nesse processo as semelhanças pretendidas pelo professor precisam ser "deduzidas" pelos estudantes ou explicitamente apresentadas. Logo, foi importante os estudantes conhecerem as analogias de forma mais profunda para que pudessem delas fazer uso nas atividades futuras, principalmente durante a construção de modelos, sempre com cuidado e responsabilidade. Para a construção das analogias analisadas com a turma, foi utilizado, além do trabalho de Mozzer e Justi (2018), Treagust e Harrisson (2006), que apresentam uma sistematização de perguntas através do guia FAR (Foco-Ação-Reflexão para ensinar com analogias) cujo objetivo é avaliar a analogia produzida. A Figura 5 evidencia o quadro que orientou o professor na construção das analogias trabalhadas com os estudantes.

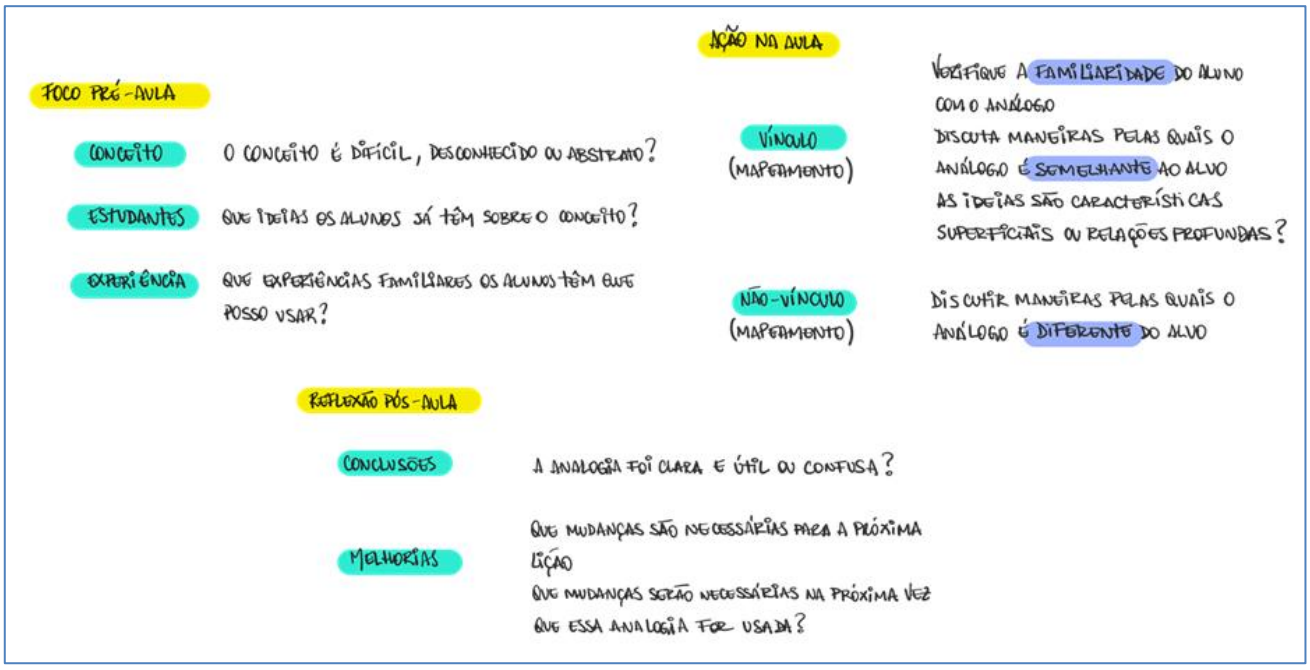


Figura 5 – Guia FAR para ensino com Analogias e Modelos

Fonte: TREAGUST; HARRISON, 2006, p. 21, tradução e adaptação nossa.

Assim, nessa atividade os estudantes foram expostos a doze sentenças que compuseram, juntas, uma analogia maior: o DNA como um livro de receitas. Contudo, na construção das doze sentenças havia outras analogias menores, que compunham a analogia maior e que puderam ser identificadas e analisadas com os estudantes. Durante a atividade, o professor discutiu com a turma as analogias apresentadas identificando as aproximações e distanciamentos entre o análogo e o alvo. Foi uma atividade importante pois a construção de analogias é fundamental para o processo de modelagem, sendo utilizada em diversos momentos. O objetivo central foi garantir que os estudantes entendessem, ainda que de forma básica, o que é, como é construída e como é usada uma analogia. Para isso, o professor interpretou com a turma as analogias apresentadas e discutiu que nem toda comparação pode ser considerada uma boa analogia, havendo espaço para que os alunos compreendessem que sua construção exige atenção aos detalhes. Nessa discussão, os estudantes puderam compreender também que uma analogia pode ser considerada um modelo, principalmente um modelo mental, e que isso contribui para o aprofundamento da noção de modelo e de sua relevância para a Ciência.

A “Atividade 4 – Modelo de síntese proteica” buscou trabalhar a construção de modelos de síntese proteica. Inicialmente, o roteiro apresentou perguntas diretas sobre aspectos biológicos que serviram como revisão de conceitos já conhecidos pelos estudantes e que auxiliariam na construção dos modelos. Essas perguntas e comandos atuaram como os “andaimes” que Gilbert e Justi (2016) destacam em sua obra: recursos que contribuem para o desenvolvimento do raciocínio durante a modelagem. Após o preenchimento dos dados biológicos, os estudantes seguiram comandos específicos que contribuíram para que os modelos fossem construídos, passando de modelos mentais para modelos expressos. As discussões foram coletivas e cada aluno construiu o seu modelo no roteiro. É importante destacar que o tópico “síntese proteica” já havia sido estudado em aulas teóricas pela turma no ano anterior e no ano corrente da pesquisa em diferentes níveis de profundidade e detalhamento. Sendo um conteúdo de grande relevância para a Biologia, e de elevada complexidade, o desenvolvimento de modelos destacou-se como muito importante para que os estudantes pudessem expressar sua compreensão sobre todo o processo e a dinâmica da síntese proteica. Além disso, esse foi o primeiro momento em que os alunos de fato trabalharam na criação de um modelo biológico, que foi revisitado e revisado em atividades seguintes.

É importante destacar que o roteiro explorou diretamente a consideração

epistêmica público ao indicar que os modelos que seriam produzidos destinar-se-iam aos “estudantes do 1º ano do Ensino Médio do ano que vem”. Ou seja, cada estudante deveria orientar seu pensamento para a produção de um modelo que o ajudasse a explicar para seus colegas calouros da série no ano seguinte o processo de produção de uma proteína.

A “Atividade 5 – *Neurospora crassa*” foi densa e complexa, tendo por isso sido dividida em duas partes. Nela, houve produção de novos modelos, envolvendo a etapa de expressão do tetraedro do EFM de Gilbert e Justi (2016), com destaque para as etapas de teste e avaliação dos modelos construídos em atividades anteriores. Essa atividade pode ser considerada experimental, conforme destacado por Silva *et al.* (2010).

Inicialmente, o roteiro criou uma narrativa com a turma: a de que os alunos compunham um grupo de pesquisas do “Laboratório de Bioquímica e Metabologia” de uma Universidade Federal Brasileira e que sua linha de pesquisas buscava compreender alguns aspectos da genética e da bioquímica de uma espécie de fungo comum do pão, *Neurospora crassa.* O roteiro apresentou imagens do fungo e dados que teriam sido publicados pelo próprio grupo de pesquisas em um artigo recente. Essa narrativa buscou aproximar os estudantes do processo da pesquisa ao invés de somente apresentar os dados do famoso e conhecido experimento bioquímico utilizado como modelo para explicar a relação de um gene com a produção de sua proteína específica. *N. crassa*, como dito, é um organismo bastante conhecido, de genética simples e direta. No experimento, uma cepa selvagem (geneticamente íntegra) e três cepas “knock-out” (indivíduos que apresentavam algum gene silenciado/inativado propositalmente) eram cultivadas em diferentes meios de cultura, sendo o primeiro um meio sem suplementação de aminoácidos e os demais três meios com suplementação de algum tipo específico de aminoácido. Considerando que os aminoácidos são os blocos/unidades formadoras das proteínas, esse experimento permite observação visual do crescimento dos fungos nos referidos meios de cultura.

Contudo, as informações acima apresentadas em relação à genética das cepas não foram fornecidas nesse primeiro roteiro da quinta atividade, tendo os alunos acesso apenas às informações visuais do crescimento das cepas nos tubos de ensaio/meios de cultura. As perguntas do roteiro auxiliaram na interpretação e discussão dos resultados do experimento pelos integrantes dos grupos e foram fundamentais para que criassem uma hipótese que pudesse explicar por que as cepas cresceram da forma que cresceram nos diferentes meios de cultura. Ou seja, a análise

do experimento por parte do grupo retomou o processo de modelagem trabalhado na atividade número dois, a atividade da caixa, já que eles não sabiam exatamente o que estava acontecendo e por quê. Ao final dessa primeira etapa da quinta atividade, foi requisitado aos grupos que construíssem um modelo que representasse sua hipótese em relação ao diferente crescimento dos fungos nos meios de cultura utilizados. O fato de todas as atividades terem sido realizadas coletivamente, contando sempre com as discussões em grupo, mas com registros individuais, nos permitiu identificar interessantes dados de aproximação e distanciamento entre o que foi registrado pelos alunos, uma vez que houve semelhanças e diferenças entre os modelos construídos individualmente.

Após a realização da primeira parte do roteiro número cinco, os estudantes mergulharam em sua segunda etapa. Um novo roteiro trouxe informações adicionais, continuando a narrativa ao indicar novos dados que estariam disponíveis em um artigo recentemente escrito e publicado para o campo da pesquisa com *N. crassa* por um grupo de pesquisas de outro país e publicado em uma revista internacional. Esses novos dados eram a cadeia de reações enzimáticas que organizava os aminoácidos utilizados nos meios de cultura do experimento anterior e apresentou três diferentes enzimas relacionadas ao metabolismo desses aminoácidos. Agora, considerando as novas informações, o grupo precisou retornar ao experimento e ao seu modelo anterior, revisando-o e determinando se deveriam alterá-lo. As perguntas contribuíram novamente como andaimes, ajudando os estudantes a raciocinarem sobre a questão. Agora, todas as etapas do processo de modelagem haviam sido experienciadas pelos estudantes ao menos uma vez: a criação, teste, avaliação e expressão.

O final da segunda parte do roteiro da atividade cinco ocorreu após a revisão do modelo construído nesse roteiro e buscou relacionar os resultados obtidos até o momento com o modelo da “Atividade 4 – Síntese proteica”. Por meio de perguntas, os estudantes começaram a trabalhar mais diretamente a metamodelagem ao revisarem e analisarem criticamente seus modelos buscando erros, possíveis ajustes, identificando generalizações e previsões. Em resumo, até o momento, os alunos construíram quatro modelos: (a) um para a Atividade 2, o modelo da caixa; (b) um para a Atividade 4, o modelo de síntese proteica e primeiro modelo biológico; (c) o modelo da parte um da Atividade 5, modelo para explicar o experimento do fungo *N. crassa*, segundo modelo biológico e (d) o modelo da segunda parte da Atividade 5, que revisa o experimento com *N. crassa* à luz de novas informações: a cadeia de reações enzimáticas. Além de terem construídos esses modelos, eles ainda os compararam, o

que nos permitiu mapear a expressão de sua progressão ao longo dos níveis das duas dimensões do estudo.

A “Atividade 6 – Refletindo sobre o modelo” foi o último momento do estudo, sendo composta por um roteiro dividido em cinco partes e cujas perguntas demandavam respostas exclusivamente dissertativas. Em “*I – revisando o modelo que você construiu*”, buscou-se dos estudantes a identificação das principais características do modelo de síntese proteica criado e modificado pelo grupo ao longo dos encontros, bem como suas limitações, objetivos e principais modificações realizadas, ou seja, como o modelo evoluiu ao longo dos encontros. Em “*II – refletindo sobre o que seu modelo revela sobre a natureza dos fenômenos estudados*”, foi requisitado dos estudantes como o modelo construído por eles explicava de fato o processo de síntese proteica. Em “*III – refletindo sobre em que situações seu modelo pode ser aplicado além do caso específico do fungo Neurospora crassa*”, trabalhou-se a generalização, buscando identificar se os estudantes conseguiam com todas as informações e conhecimentos de que dispunham até o momento relacionar o que incluíram em seus modelos com os demais tipos de seres vivos, fossem eles eucariontes, como o fungo do experimento cinco, ou procariontes, como as bactérias e cianobactérias. Em “*IV – identificar as evidências e raciocínios usados para construir e modificar seus modelos*” buscou-se dos alunos quais provas experimentais identificadas ao longo dos roteiros, principalmente ao longo do roteiro cinco, mostraram a relação entre um gene e uma proteína. E, em “*V – considerar como você adaptaria a linguagem e os argumentos de seus modelos para diferentes públicos*”, buscou-se dos alunos sua visão sobre como seu(s) modelo(s) poderiam de fato serem utilizados para explicar a síntese proteica para outras pessoas.

3. Resultados e discussão

A pesquisa conduziu a resultados interessantes e relevantes para o cenário do Ensino de Ciências e Biologia e para o trabalho com modelos e modelagem na educação básica. Nesta seção, cada atividade é abordada explicitando-se os resultados da análise do conteúdo realizada. Os roteiros das atividades compreendem os apêndices de número quatro a nove presentes no final do texto. É importante destacar que para os modelos não foram separadas sua descrição da análise, isso porque entende-se que a segunda depende da primeira. Entretanto, posicionam-se os principais aspectos da análise ao final do texto produzido para cada modelo.

3.1. Atividades

Neste bloco, são apresentados os resultados das atividades realizadas na sequência didática. Para cada atividade, destacam-se o total de unidades de análise identificadas e o percentual de expressão das dimensões e níveis, discutindo o que explicaria e justificaria tais resultados. Também são abordados os pontos de maior destaque durante cada atividade e as peculiaridades observadas. É importante relembrar que foram transcritas integralmente as passagens dos estudantes, conservando seus erros ortográficos, gramaticais, redundâncias e falta de concordância. Os modelos foram considerados unidades de análise, sendo divididos em partes que são analisadas e integradas umas às outras.

3.1.A. Atividade 1 – Modelos

A “Atividade 1 – Modelos” contou com a participação dos quatro estudantes do grupo acompanhado no estudo e seu objetivo foi identificar a percepção deles sobre o conceito de modelo. Para isso, foram apresentadas dez imagens presentes no Apêndice 4: Atividade 1 – Modelos. Para cada imagem havia três comandos no roteiro:

“O que você vê?”, “Você considera que isso seja um modelo?” e “Justificativa”. Foram produzidas trinta respostas por cada estudante, uma para cada comando.

Em relação às imagens, apenas três, as fotografias, não foram consideradas como possíveis modelos segundo nossa interpretação dos referenciais utilizados nesta pesquisa. Todas as demais se encaixariam em alguma definição de modelo, ainda que mais associadas, nessa primeira atividade, a um viés representacional, e que é elaborado pelos alunos ao longo dos demais encontros. Essa elaboração consiste no deslocamento da perspectiva de modelos como meras representações para modelos como artefatos epistêmicos. O quadro abaixo evidencia a descrição de cada imagem e sua classificação dentro da perspectiva descrita.

Quadro 15 – Identificação de quais imagens do roteiro podem ser modelos

Imagem	Descrição	Poderia ser modelo?
1	Carro de brinquedo	Sim
2	Fórmula estrutural plana da água	Sim
3	Fórmula molecular da água	Sim
4	Fotografia de processo de dissolução	Não
5	Fotografia de grãos de pólen diversos	Não
6	Fotografia de epiderme foliar	Não
7	Desenho de uma célula do sistema imunológico	Sim
8	Gráfico de reação enzimática	Sim
9	Fórmula matemática da equação de Torricelli	Sim
10	Torso humano de plástico	Sim

Fonte: produção nossa.

O quadro a seguir evidencia os resultados das classificações realizadas pelos estudantes para cada item nessa primeira atividade. Das quarenta classificações feitas pelos estudantes, treze (32,5% da amostra), grafadas em amarelo, não se alinharam ao que consideramos modelos, enquanto vinte e sete (67,5% da amostra) se alinharam. Portanto, mais da metade dos itens propostos foi classificado pelos alunos dentro daquilo que a pesquisa considera como modelo, mesmo que eles não tivessem familiaridade com seu universo. Ainda assim, os percentuais reforçam o caráter polissêmico dos modelos e a complexidade que é sua definição.

Quadro 16 – Identificação dos itens pelos estudantes

Imagem	Estudante 1	Estudante 2	Estudante 3	Estudante 4
1	Sim	Sim	Não	Sim
2	Sim	Sim	Sim	Sim
3	Sim	Não	Não	Não
4	Sim	Não	Não	Não
5	Sim	Não	Não	Não
6	Sim	Sim	Não	Não
7	Sim	Sim	Sim	Sim
8	Sim	Não	Não	Não
9	Sim	Não	Não	Não
10	Sim	Certo	Sim	Sim

Fonte: produção nossa

É importante lembrar que essa primeira atividade não se constituiu ainda como uma modelagem. Ela buscou apenas identificar as percepções dos estudantes, sua visão, sobre o que seria um modelo, e, para tanto, não houve unitarização de seus textos. Contudo, através das justificativas das classificações foi possível identificar oito grupos de percepções dos estudantes acerca do que seria um modelo, conforme pode ser observado no Quadro 17, que evidencia, em ordem decrescente de frequência, a ocorrência das percepções com exemplos. Os trechos sublinhados no texto exemplo colabora para identificação da percepção. Em alguns casos, um texto poderia se aproximar de outra percepção, mas sua alocação envolveu a principal ideia que ele exprime. Após o Quadro 17, apresentamos o Quadro 18, que evidencia as percepções dos alunos individualmente.

Quadro 17 – Percepções dos alunos sobre modelos

Percepção	Frequência	Texto exemplo
Modelos como cópia da realidade	7	“Embora não seja algo tão fiel à realidade representa a molécula de água e tenta aproximar quem está lendo.” (E4) “Mostra perfeitamente o corpo humano, com todos os órgãos amostra.” (E3)
Relação entre modelo e imaginação	7	“Sim, representa uma imagem de uma célula podendo ver e entender seus componentes, conseguindo após o olhar é possível imaginar na

		sua cabeça.” (E1) “é definitivamente um modelo. Não é uma representação fiel, faz com que a pessoa imagine na sua cabeça como é.” (E4)
Modelos como simplificação da realidade	6	“considero um modelo, você consegue entender e o mesmo busca simplificar todos os processos. Todos conseguem identificar.” (E4) “Não é um modelo, não busca simplificar o conceito para um Dpúblico leigo, por assim dizer.” (E4)
Modelo como esquema	6	“não tem uma legenda não tem nem (ilegível) objetivo, para mim é só uma imagem.” (E4) “Para mim é um modelo porque mesmo que não tenha legenda tudo está bem indicado.” (E3)
Não indica o que seria modelo	5	“Para ser modelo, precisa ser menos abstrato e não há imagem.” (E3) “O que é mais uma representação do que um modelo.” (E2)
Representações matemáticas não são modelos	4	“Fórmula não é modelo.” (E3) “para mim, um gráfico não é muito bem um modelo. Tem um objetivo, mas você precisa de uma interpretação mais aflorada.” (E4)
Modelo como representação	3	“Porque mostra a representação de algo que forma uma provável cadeia.” (E2) “Sim, representa um modelo, pois representa cientificamente os componentes químicos da água. Mesmo que não seja água literal.” (E1)
Modelo não é imagem	2	“É mais uma imagem do que um modelo.” (E2) “Foto não é modelo, o modelo tem que ser mais simplificado.” (E3)

Fonte: a pesquisa.

Alguns pontos se destacam a partir da observação do Quadro 17. Primeiro, como era de se esperar, a principal visão expressa para modelos é a de cópia da realidade, ao que se somam modelos como simplificação da realidade e como

representação. Contudo, apresentando a mesma frequência que a visão de modelos como cópia, ainda que inesperadamente, a relação entre modelo e imaginação aparece expressivamente. Outro ponto que chama atenção é o número de justificativas a partir das quais não se conseguiu compreender a visão dos alunos sobre modelos, cujos textos indicariam o que não é modelo. Também é notório o número de justificativas que sustentam que representações matemáticas não seriam modelos.

Quadro 18 – Percepções dos alunos em suas justificativas

Percepção	Estudantes				Totais
	1	2	3	4	
Modelos como cópia da realidade	3	1	2	1	7
Relação entre modelo e imaginação	5	-	-	2	7
Modelos como simplificação da realidade	-	2	-	4	6
Não indica o que seria modelo	-	3	1	1	5
Modelo como esquema	-	1	4	1	6
Representações matemáticas não são modelos	-	1	2	1	4
Modelo como representação	1	1	-	1	3
Modelo não é imagem	-	1	1	-	1

Fonte: a pesquisa.

Pode-se notar, a partir do Quadro 18, que o Estudante 1 enxerga modelos principalmente como estruturas que colaboram para a imaginação de algo que é representado, uma visão mais elaborada de modelos. Ainda assim, ele expressa também a visão de modelos como cópia da realidade e como representação de algo. O Estudante 2 foi o que teve maior número de itens cujas justificativas não indicaram alguma definição de modelos. Sua visão principal é a de modelos como simplificação da realidade, mas também expressou as visões de modelos como cópia da realidade, como esquemas, como representação/cópia de algo e não enxergou representações matemáticas e imagens como modelos. O Estudante 3 vê modelos principalmente como esquemas e como cópia da realidade, além de não enxergar representações matemáticas e imagens como modelos. Já o Estudante 4 foi o que apresentou maior plasticidade em relação à definição de modelos, só não expressando que imagens seriam modelos, e uma de suas justificativas não permitiu identificação do que seria, para ele, modelo.

Portanto, os resultados dessa primeira atividade indicam que os estudantes

não tiveram facilidade em classificar e discutir quais dos exemplos seriam modelos, o que se alinha ao caráter polissêmico dos modelos.

3.1.B. Atividade 2 – Modelagem

A “Atividade 2 – Modelagem” contou com a participação dos quatro estudantes do grupo e seu objetivo foi trabalhar a modelagem. Para isso, os alunos manipularam uma caixa de papelão, opaca, fechada, que continha objetos desconhecidos em seu interior, e seguiram um roteiro dividido em três partes.

A primeira contou com orientações para a manipulação da caixa e para a construção do modelo. Seu conteúdo não deu origem às unidades de análise, pois se tratou apenas da descrição direta do que eles observaram na caixa, dando suporte à produção dos modelos. A segunda parte envolveu a produção dos modelos, que constituíram unidades de análise. A terceira parte buscou analisar a produção do modelo, e as respostas à segunda pergunta do roteiro constituíram unidades de análise. Foram, com isso, produzidos: quatro modelos, um de cada estudante, e sete unidades de análise oriundas das respostas às perguntas sobre os modelos. O quadro a seguir indica os níveis de progressão expressos pelos estudantes na produção dos modelos.

Quadro 19 – Expressão individual de dimensões e seus níveis para os modelos na Atividade 2

Estudante	Dimensão e Nível do modelo
1	D1.2
2	D1.1
3	D1.2
4	D1.2

Fonte: a pesquisa.

Assim como identificado no trabalho de Schwarz *et al.* (2009), pôde-se observar, nesta primeira atividade com modelagem, a expressão do nível um da Dimensão 1 nos produtos de conhecimento dos quatro estudantes cujos modelos evidenciaram ilustrações literais de um fenômeno destacando suas características

observáveis. Contudo, foi perceptível o deslocamento do nível um da Dimensão 1 para o nível dois diante dos detalhes nos modelos, principalmente nos modelos dos Estudantes 1, 3 e 4. Isso se destacou pela inclusão de linhas de força, ondas sonoras, movimento da caixa e dos objetos, todas características invisíveis e que foram expressas nos modelos. Portanto, fica claro que os alunos construíram e usaram seus modelos para explicar como um fenômeno ocorre, sendo consistente com as evidências que eles obtiveram a partir do próprio fenômeno, exatamente como destacado por Schwarz *et al.* (2009): "*Essas explicações podem incluir processos, mecanismos ou componentes estruturais não observáveis que ajudam a explicar o fenômeno*". (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 641)

O nível três da D1 envolveria, além da explicação do fenômeno, a capacidade de previsão que o modelo proporcionaria, o que não foi observado. Já o nível quatro seria expresso se fosse possível identificar, além da previsão, a generalização, o que também não foi observado. A Dimensão 2 não foi expressa visto que a atividade não abordou o aspecto mutável dos modelos. A seguir, são apresentados os modelos, sua descrição e análise.

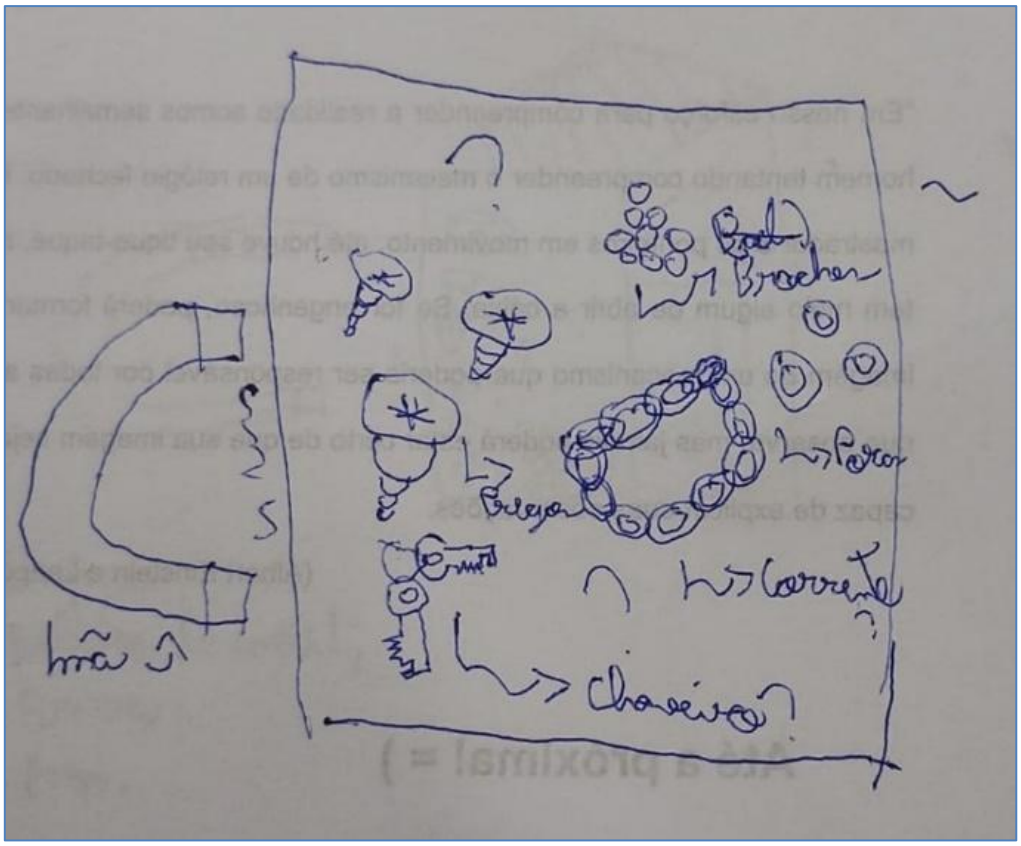


Figura 6 – Modelo do Estudante 1 da Atividade 2 (A2E1M)

Fonte: produção do Estudante 1.

Em seu modelo, o Estudante 1 representou a caixa de papelão e desenhou objetos em seu interior, com pontos de interrogação indicando a dúvida sobre o tipo e natureza dos objetos. Ele também representou o ímã utilizado na atividade para analisar a caixa. Próximo ao ímã, o estudante representou o que seriam “linhas de força”, indicando a ação do magnetismo sobre a caixa. Seu modelo contou com legendas para os objetos destacados por ele, que foram: pregos, chaveiro, corrente, porcas e broches. Na construção desse modelo o estudante procura ilustrar literalmente como é o fenômeno, o que expressaria o primeiro nível da D1. Contudo, a representação das “linhas de força” mostra que ele, a partir das evidências oriundas dos testes feitos no objeto estudado, vai além da simples representação direta. Isso indica expressão do segundo nível da D1.

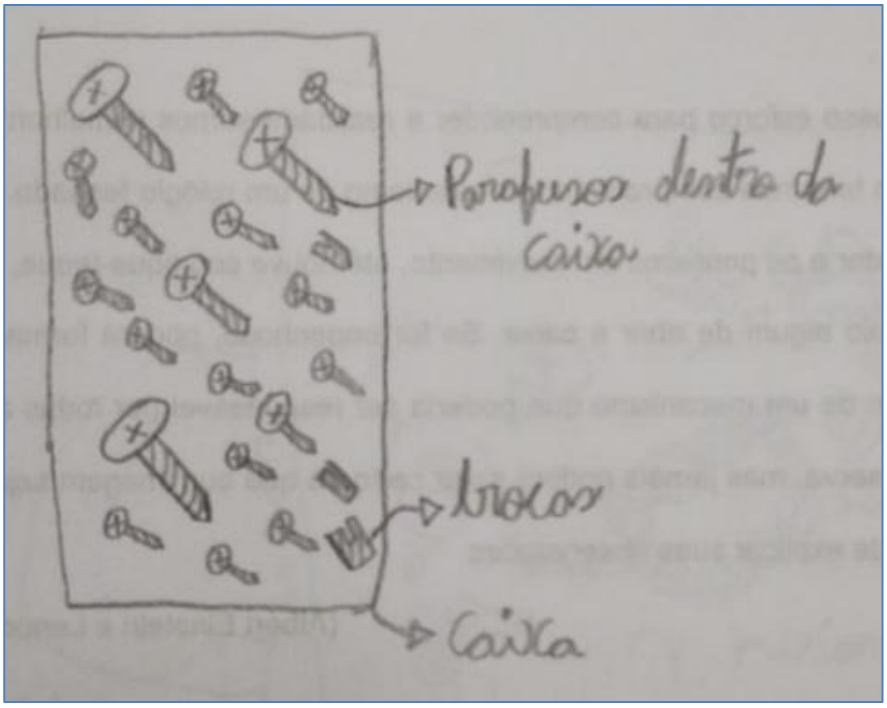


Figura 7 – Modelo do Estudante 2 da Atividade 2 (A2E2M)

Fonte: produção do Estudante 2.

Tal como o Estudante 1, o Estudante 2 representou a caixa e possíveis objetos em seu interior. Ele apresentou apenas duas possibilidades de objetos, intitulados parafusos e brocas. Seu modelo não destacou a presença e uso do ímã como feito pelo Estudante 1, seguindo apenas uma representação literal daquilo que era experienciado, não exibindo, por exemplo, as linhas de força, como feito pelo Estudante 1. Portanto, por apenas buscar mostrar/ilustrar literalmente o fenômeno, ele expressa o primeiro nível da D1.

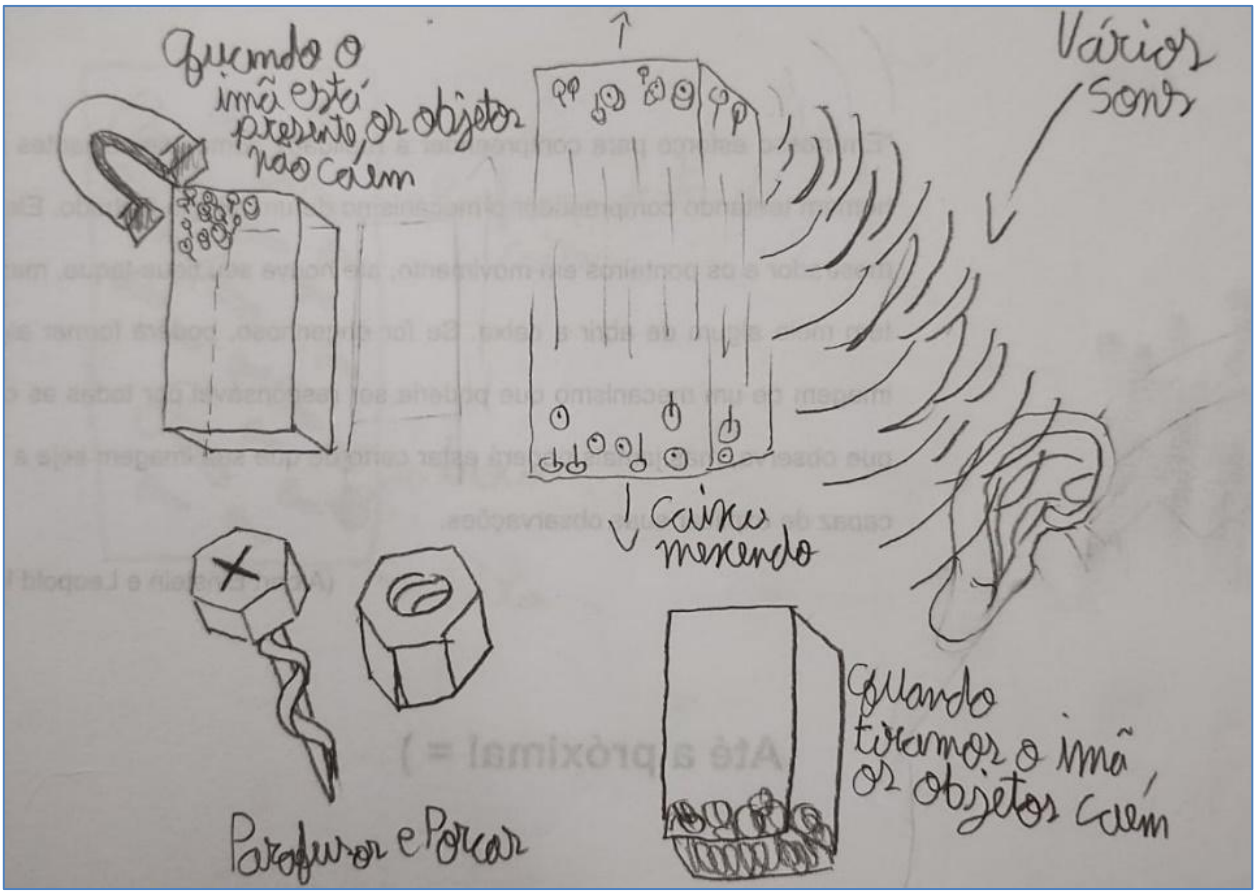


Figura 8 – Modelo do Estudante 3 da Atividade 2 (A2E3M)

Fonte: produção do Estudante 3.

O modelo do Estudante 3 foi o mais complexo dos quatro modelos construídos nessa atividade, tendo sido constituído por três partes complementares. Apesar de ter representado diretamente o que foi percebido durante a atividade, sua construção se sobressaiu por alguns aspectos.

Na primeira parte, o aluno representou a ação isolada do ímã sobre os objetos da caixa, indicando a agregação deles na porção superior do invólucro pela ação magnética, representada tanto por desenho quanto por uma legenda. Na segunda parte, ele evidenciou a movimentação da caixa, representada por setas e linhas, que indicaram o movimento, e por legenda. Ainda nessa parte, o aluno evidenciou linhas que representaram ondas sonoras, também legendadas, se deslocando pelo ar até o ouvido/orelha, que foi desenhado/a e não recebeu legenda. A terceira parte, por meio de desenho e legendas, indica que sem a ação do ímã, os objetos “caiam” dentro da caixa, complementando a representação da primeira parte. A última parte do modelo representou, por desenhos e legendas, dois tipos de objetos metálicos (porcas e parafusos), que seriam, sob a ótica do estudante, seus palpites para os objetos que

estariam dentro da caixa.

Pode-se, assim, dizer que o estudante expressa o primeiro nível da D1 porque busca, com seu modelo, mostrar/ilustrar o fenômeno. Mas, assim como feito pelo Estudante 1, ele representa em seu modelo aspectos invisíveis: a ação magnética realizada pelo ímã nos objetos, as ondas sonoras provenientes da movimentação da caixa e da agitação de seu conteúdo e a queda dos objetos dentro da caixa na ausência do ímã. Isso demonstra, conforme destacado por Schwarz *et al*. (2009), a transição do primeiro para o segundo nível da D1.

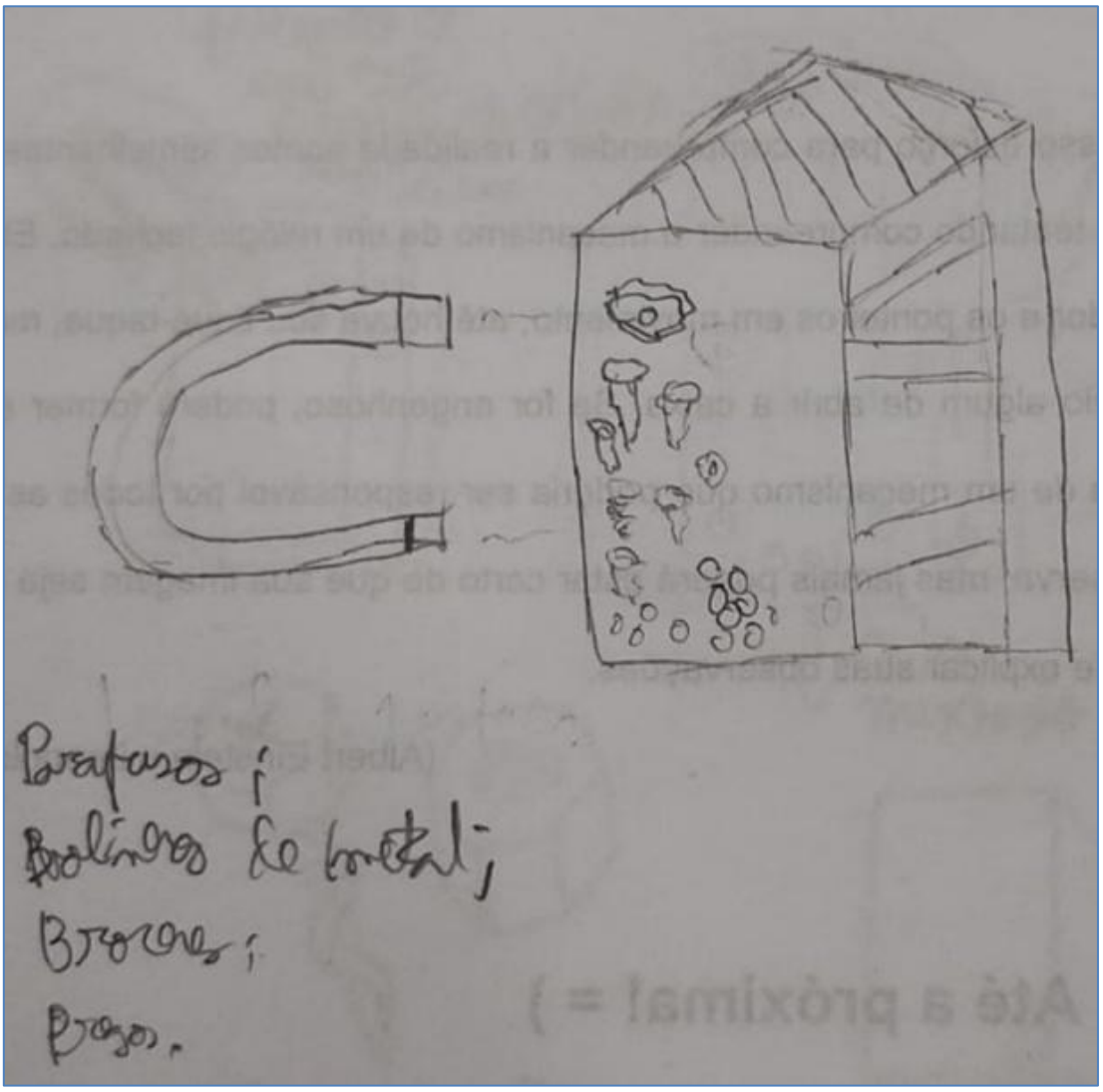


Figura 9 – Modelo do Estudante 4 da Atividade 2 (A2E4M)

Fonte: produção do Estudante 4.

O modelo do Estudante 4 representou a caixa, o ímã e os objetos em seu interior. Ele destaca que os objetos são atraídos para a parede da caixa pelo ímã, a partir do qual são representadas linhas que indicam o magnetismo. Na porção inferior

do modelo, estão presentes palavras que indicam os palpites do estudante em relação aos objetos presentes no interior do invólucro, mas não é possível relacionar com certeza as palavras aos objetos representados na parte superior do esquema. Pôde-se perceber a expressão dos níveis um e dois da D1 pelos mesmos motivos apresentados para os Estudantes 1 e 3.

Para as respostas escritas foram identificadas dez unidades de análise, com cinco expressões da Dimensão 1 e cinco expressões da Dimensão 2. A D1 apresentou o nível dois como o mais frequente e o máximo nível expresso. A D2 teve o nível três como o mais frequente e expressão e o quarto nível máximo nível expresso. O Quadro a seguir apresenta as unidades de análise, seu texto, sua dimensão e nível delimitados, e sua análise.

Quadro 19 – Categorização das respostas da Atividade 2 – Modelagem

Unidades **Texto**	**Dimensão** **Nível**	**Análise**
Pergunta – "Quais as etapas que você julgou importantes ao propor o modelo?"		
"Escutar os sons que o objeto emite ao ser chacoalhado. (A2E1Q2A) Testar a gravidade do objeto/tempo que ele demora para descer um lado da caixa ao outro, escutar a quantidade de sons para entender se são múltiplos ou não, testar se ele possui atratividade pelo ímã (A2E1Q2B) e analisar com os integrantes o que cada um pensa sobre. (A2E1Q2C)	D1.2 D1.2 D2.3	A2E1Q2A e A2E1Q2B permitem identificar que o estudante usou dados empíricos para sustentar seu pensamento e que realizou a etapa de teste do tetraedro do modelo de modelagem para auxiliar na construção de seu modelo. Isso se alinha ao nível dois da Dimensão 1. Também é possível observar, através de A2E1Q2B, a etapa de expressão, ilustrada pela comunicação que permitiu a delimitação do pensamento de cada integrante do grupo. A2E1Q2C evidencia a primeira aparição da Dimensão 2 em nosso estudo porque ao dizer "*analisar com os integrantes o que cada um pensa sobre*" os alunos "*revisam modelos para melhor ajustar as evidências obtidas e melhorar a articulação de um mecanismo no modelo*" (SCHWARZ *et al.* 2009, tradução nossa,

		p. 647), melhorando seu poder explicativo. Isso também pode ser sustentado pelo fato de que os modelos foram construídos individualmente, mas com semelhanças estruturais nas representações, como as linhas de força que os estudantes um e quatro representaram. Logo, se mostrou válido realizarmos a construção individual de modelos, o que nos permitiu identificar essa aproximação embasada pela discussão coletiva na atividade. O quarto nível da D2 não foi atingido porque os alunos não trabalharam o poder preditivo de seus modelos.
"primeira etapa importantes foi o peso, uma vez que nos ajudou a determinar se é uma coisa pessada ou várias coisas leves que fazem sons juntas. A segunda etapa foi o som que nos ajudou a descobrir o quanto demora para cair. E a terceira foi o ímã que nos mostrou que é algo levemente metálico e sua velocidade. (A2E2Q2)"	D1.2	Os trechos sublinhados indicam dados que são evidências empíricas utilizadas pelo estudante para construir seu modelo, o que é consonante ao segundo nível da D1.
1º - Observação: fazer testes para descobrir novas informações. (A2E3Q2A) 2º - Debater: descobrir pontos de vista diferentes para expandir os horizontes. (A2E3Q2B) 3º - Formulação de hipóteses:	D1.2 D2.3 D2.4 D2.4	O texto da primeira unidade de análise se encaixa perfeitamente no nível dois da D1 porque a observação e os testes destacados pelo estudante compõem dados empíricos e evidências sobre o fenômeno, orientando a produção do modelo. Já a segunda unidade de análise, ao indicar o debate com a finalidade de

chegar em diversas conclusões e depois definir a melhor opção. (A2E3Q2C) 4º - Criação do modelo: fazer um modelo com base na conclusão. (A2E3Q2D)"		"descobrir pontos de vista diferentes e expandir os horizontes" evidencia o terceiro nível da D2, que diz: "Os alunos comparam modelos para ver como diferentes componentes ou relações se ajustam às evidências de forma mais completa ...". A terceira unidade de análise atinge o último nível da dimensão da metamodelagem pelo estudante construir um raciocínio que se inicia com elaboração de uma hipótese para então chegar a conclusões e só após definir as melhores opções, o que é consonante à "Os alunos consideram mudanças nos modelos para aumentar o poder explicativo antes de obterem evidências que apoiem essas mudanças...". Por fim, a última unidade de análise se relaciona ao texto final do nível quatro da Dimensão 2: "As mudanças no modelo são consideradas para desenvolver questões que podem **então** ser testadas em relação às evidências dos fenômenos".
"Eu julguei importante o uso do ímã, que foi fundamental para identificar se o objeto tinha atração, ouvir o barulho, o som emitido ao manusear e movimentar a caixa (A2E4Q2A). Algo que também teve um impacto significativo foi a discussão de ideias que ocorreu entre todos os	D1.2 D2.3	A2E4Q2A corresponde ao nível dois da D1 porque os dados empíricos e as evidências destacadas pelo aluno contribuem para a explicação do fenômeno, orientando a produção do modelo. Já A2E4Q2B, ao ressaltar a importância da discussão e dizer que dali em diante houve contribuição para a elaboração da conclusão, se relaciona com "Os alunos revisam modelos para melhor ajustar às evidências obtidas e

integrantes, que, doravante, nos ajudou a dar a nossa conclusão (A2E4Q2B)".		melhorar a articulação de um mecanismo no modelo. Assim, os modelos são revisados para melhorar seu poder explicativo" (SCHWAZRZ *et al.* 2009, p. 647).

Fonte: a pesquisa.

3.1.C. Atividade 3 – Analogias

A "Atividade 3 – Analogias" não contribuiu para coleta de dados da pesquisa. Ela foi realizada apenas para familiarizar os estudantes com o conceito de "analogias". Seu roteiro segue como Apêndice 6 ao final deste documento. De forma geral, essa atividade contribuiu para que os estudantes entendessem o que é, como funciona e como é construída uma analogia.

3.1.D. Atividade 4 – Síntese proteica

A quarta atividade foi o primeiro momento em que houve a construção de um modelo biológico. Os quatro estudantes do grupo participaram dessa atividade que teve como expressão máxima, para todos, o terceiro nível da Dimensão 1, não havendo expressão da Dimensão 2, conforme evidenciado pelo quadro a seguir.

Quadro 20 – Expressão individual de dimensões e seus níveis para os modelos na Atividade 4 – Síntese proteica

Estudante	Dimensão e Nível do modelo
1	D1.3
2	D1.3
3	D1.3
4	D1.3

Fonte: o estudo.

Nessa atividade, os estudantes responderam algumas perguntas andaime na primeira parte, que não constituíram unidades de análise, e, em seguida, receberam oito orientações específicas para a construção de seus modelos. As instruções seguem no quadro abaixo.

Quadro 21 – Instruções para a construção do modelo da Atividade 4

Instruções para a construção do modelo
1. Após organizar as informações acima, vamos trabalhar na elaboração do modelo.
2. Esse modelo será construído por você e seus colegas, individualmente, mas através de uma discussão coletiva.
3. Primeiro você deve determinar qual ou quais os objetivos do modelo que você construirá.
4. Para isso, você deve pensar: para quem se destinará esse modelo? Quem utilizará esse modelo e para qual finalidade? No caso, já sabemos que construiremos modelos pensando nos estudantes das turmas do 1º ano do EM de 2025.
5. O que esse modelo representará e por que representará?
6. O que esse modelo não representará e por que não representará?
7. Quais as limitações desse modelo?
8. O que podemos discutir a partir desse modelo?

Fonte: o autor.

Uma das dificuldades de se trabalhar com a modelagem percebidas neste trabalho foi compreender o quanto de direcionamento o estudante deve receber para construir seu modelo. As orientações acima contemplam alguns aspectos. A segunda orientação indica que os modelos seriam construídos individualmente, mas que precisariam ser discutidos coletivamente, o que se alinha à metodologia deste trabalho. A terceira orientação traz para o estudante o foco no objetivo do modelo, que guiaria sua produção. Esse comando estaria associado à consideração epistêmica “natureza”, visto que essa consideração se relaciona ao que o produto de conhecimento descreve, explica e como o faz. A quarta orientação foca no público para o qual o produto de conhecimento seria produzido, que foi definido como os estudantes do Ensino Médio da 1ª série do ano seguinte. A quinta orientação se relaciona à terceira, e reforça a ideia do foco que o modelo terá. Aqui, além da “natureza”, a consideração epistêmica “justificação” se destaca, já que ela está associada a como as ideias dos modelos são justificadas, é o “por que fazemos o que fazemos”. A sexta orientação complementa a quinta e ajuda na delimitação do que será representado, mudando a perspectiva da pergunta anterior. E, a última orientação, colabora para a visão geral do modelo, retomando as quatro considerações epistêmicas e amarrando sua produção.

Os quatro modelos construídos na atividade indicam que os estudantes possuem elevado domínio conceitual do tema “síntese proteica”. Fica evidente a capacidade de abstração e elaboração dos estudantes diante de um tema complexo e invisível ao olho desarmado, com poucos erros conceituais identificados e que, considerando-se a complexidade das representações, são pequenos e de fácil correção, podendo serem alterados durante a etapa de revisão, que não ocorreu nessa atividade.

É possível que se a atividade apresentasse comandos específicos que contemplassem a generalização e a previsão, o quarto nível da Dimensão 1 se manifestasse nas representações. Há que se destacar, no entanto, que essa atividade de modelagem não partiu de um fenômeno de ancoragem como uma situação problema, mas sim de uma solicitação: a construção de um modelo que pudesse ser utilizado por eles para explicar aos colegas da turma do ano seguinte o processo de síntese proteica. Essa delimitação do público se mostrou interessante por dar base aos estudantes, oferecendo um objetivo claro, colaborando para o processo de criação do modelo.

A partir disso, percebe-se que os modelos produzidos pelos estudantes buscaram ilustrar o processo de síntese proteica com grande quantidade de informações. Eles estavam preocupados em “não deixar nada de fora”. Isso poderia ilustrar seu conhecimento sobre os processos estudados, mas também poderia indicar uma manifestação natural do ensino-aprendizagem focado na memorização de conteúdos e informações. Por outro lado, pode-se perceber, nos produtos de conhecimento, encadeamento de conceitos em uma sequência lógica que é produto da expressão do próprio estudante. Ou seja, a abordagem da modelagem permitiu que eles articulassem seus conhecimentos sobre o assunto, que havia sido trabalhado pela última vez já há mais de um trimestre, e expressassem, diante das orientações, aquilo que compreendiam em relação ao fenômeno da produção de proteínas. Foi uma oportunidade para que eles “construíssem de novo” os modelos com os quais trabalharam em sala. Isso significa que há semelhanças entre os modelos que foram utilizados com a turma durante as aulas teóricas sobre o tema, mas os modelos expressos não foram cópias daqueles, e sim a reconstrução proposta pelos estudantes de acordo com as suas prioridades para as representações. Houve a identificação de alguns poucos erros conceituais, que diante de todo o processo de construção dos modelos, da complexidade de sua arquitetura e profundidade de sua expressão, se diluem, e inclusive participam do processo de modelagem, que envolve

a revisão, momento em que erros podem ser corrigidos e correções podem ser feitas.

A seguir, apresentamos os modelos de cada estudante, com identificação de sua unidade de análise e da dimensão e nível propostos, descrevemos individual e detalhadamente aquilo que pôde ser percebido a partir das representações, discutimos os níveis da progressão identificados e porque eles teriam sido atribuídos.

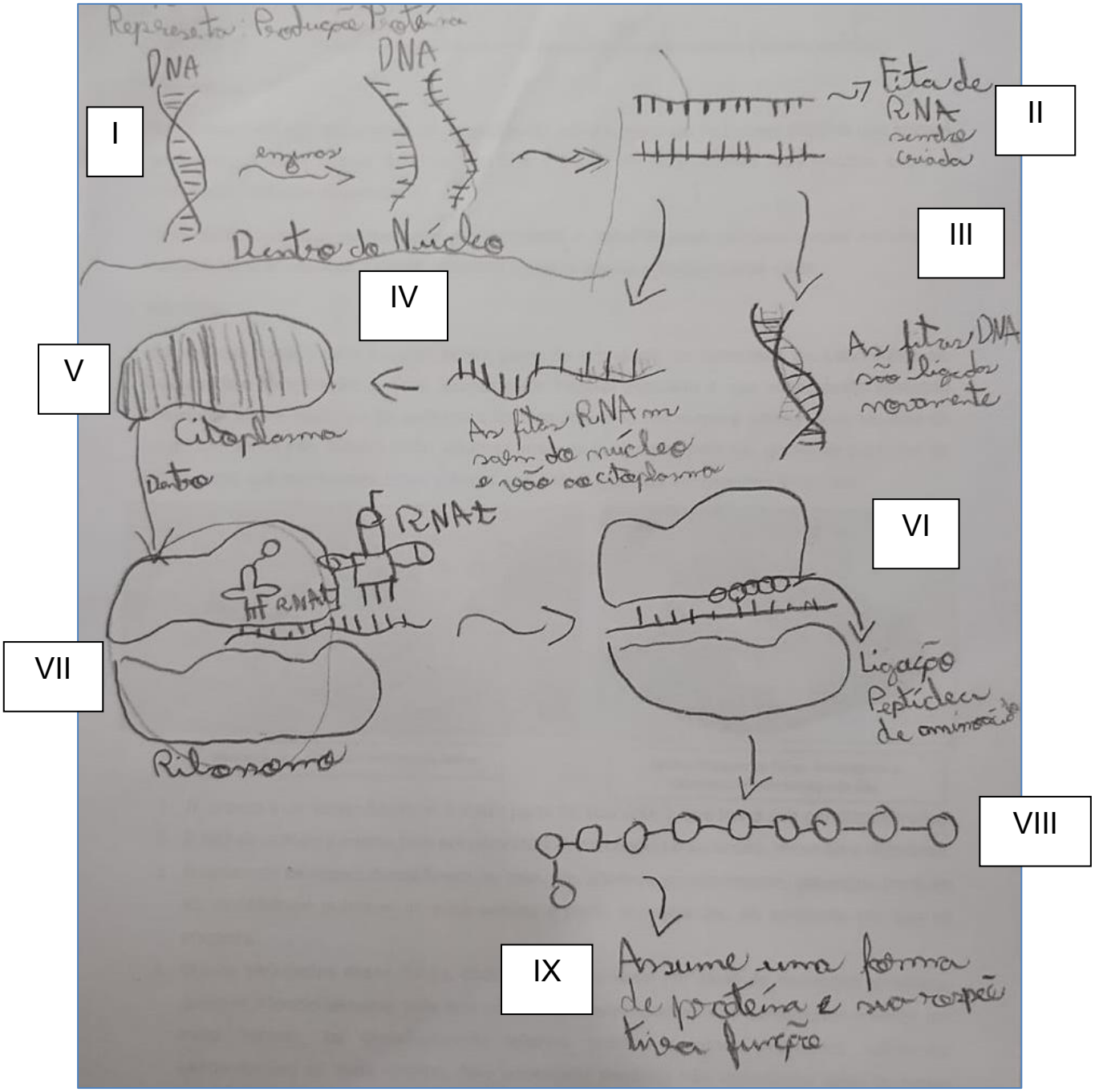


Figura 10 – Modelo do Estudante 4 da Atividade 4 (A4E1M)

Fonte: produção do Estudante 1.

A unidade de análise A4E1M é composta por nove partes, destacadas no modelo por algarismos romanos. Inicialmente destaca-se que tudo o que foi representado no modelo são estruturas submicroscópicas, moléculas. Portanto, trata-se de uma representação de aspectos invisíveis, o que já sugere, de acordo com Schwarz *et al.* (2009), um início de movimento além do nível um da Dimensão 1.

Na primeira parte (I), o estudante evidencia o processo de separação da dupla fita de DNA por meio de enzimas, que são inseridas no modelo por uma legenda. Esse processo ocorre na região do gene durante sua transcrição, sendo fundamental para a ocorrência dessa. Erroneamente, as duas fitas são completamente afastadas e não apenas a região do gene é aberta. Mas, ele demonstra compreensão sobre a fundamental ideia de abertura do DNA para a ocorrência da transcrição.

Na segunda parte (II), o estudante demonstra compreender que o RNA é feito a partir do DNA, mesmo que em seu modelo ele não inclua caracteres específicos, como as bases nitrogenadas dos nucleotídeos. Ainda assim, o posicionamento de duas fitas, uma à frente da outra, sugere que ele compreenda a complementaridade das bases nitrogenadas entre o DNA e o RNA no processo de transcrição. Ele faz isso por meio de um desenho e de uma legenda, “Fita de RNA sendo criada”, que complementa sua representação e integra essa unidade de análise com a primeira. Ele não insere em seu modelo a enzima RNA-polimerase, mas, considerando o elevado nível de detalhamento que expressa em seu modelo, parece não ter desejado ilustrá-la.

Em seguida, o estudante bifurca sua representação, o que nos leva a duas partes diferentes. Na primeira (III), o estudante desenha a molécula de DNA novamente íntegra, indicando por meio de uma legenda que “As fitas de DNA são ligadas novamente”, evidenciando sua compreensão de que a região do gene foi aberta temporariamente apenas para a sua leitura e criação da fita de RNA. Na segunda parte (IV), o estudante novamente representa por um desenho o RNA e com uma legenda sinaliza que “As fitas RNAm saem do núcleo e vão para o citoplasma”. Nesse trecho é importante destacar que: primeiro, ele se refere corretamente ao tipo de RNA e, segundo, utiliza o plural para se referir a ele, o que indica que mais de uma fita de RNAm pode ser produzida a partir do processo de transcrição de um gene, empregando, assim, uma visão profunda do processo de transcrição.

Em seguida, o modelo segue para a quinta parte (V) e o estudante desenha uma figura geométrica próxima de uma elipse, que legenda como “Citoplasma”, sem acrescer muitos detalhes a sua estrutura, e fazendo uma ponte direta para um processo realizado pelo encontro de moléculas. Isso é indicado por uma seta dupla,

que liga o citoplasma às moléculas e estruturas da próxima unidade de análise.

Em VI, o estudante representa de forma detalhada as duas subunidades de um ribossomo interagindo com a fita de RNAm que foi produzida em etapas anteriores em seu modelo e duas moléculas de RNAs transportadores, aos quais ele acresce um círculo que ilustra aminoácido. Além de legendar o RNAt e o ribossomo, o estudante ainda evidencia na estrutura do RNAt o que corresponderia à região do anticódon e ilustra o primeiro RNAt já próximo do RNAm, interagindo com esse dentro do ribossomo, e o segundo RNAt chegando à cena, uma ilustração bem complexa.

Em seguida, o Estudante 1 integra a parte VI com a parte VII, que evidencia a união entre os aminoácidos, representados pelas bolinhas desenhadas situadas sobre a fita de RNAm que está dentro do ribossomo ao que ele acresce uma legenda indicando “Ligação peptídea de aminoácidos”.

Na parte VIII, o aluno desenha a proteína em destaque, com os círculos sendo os aminoácidos e as linhas entre eles a ligação peptídica, previamente nomeados pela legenda.

O modelo se encerra com parte IX, que corresponde a uma legenda que diz “Assume uma forma de proteína e sua respectiva função”, relacionando a forma da proteína à sua função biológica.

De modo geral, se trata de um modelo de elevada complexidade, com bom nível de detalhamento e representação de estruturas submicroscópicas invisíveis. O nível de abstração necessário à sua construção é significativo, principalmente por tratar de um estudante de cerca de quinze anos de idade. Ele conseguiu, em um modelo, reunir e relacionar de forma integrada vários processos e etapas da fabricação de uma proteína.

Considerando a Dimensão 1, inicialmente poder-se-ia pensar na expressão do nível um, com o estudante buscando ilustrar como é o fenômeno. Mas, se considerarmos o nível de detalhamento e especificidade das representações, integração das legendas com as imagens ilustrando e ligando os processos, rapidamente nos deslocamos para o segundo nível, visto que o estudante está comunicando com os modelos sua compreensão sobre o fenômeno. O deslocamento pelos níveis continua à medida que o estudante evidencia uma compreensão cada vez mais profunda sobre o fenômeno estudado, com o modelo servindo nitidamente como ferramenta apoiadora do seu pensamento sobre o fenômeno, que fica evidente com a seleção do que foi representado e como foi representado. Ou seja, percebe-se que ele leva em consideração as “*alternativas na construção do modelo com base na análise*

das diferentes vantagens e fraquezas para explicar" (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 640) e que ele constrói e usa os modelos de forma integrada para explicar mais aspectos do fenômeno estudado, no caso, a síntese de proteínas, evidenciando a expressão do terceiro nível da Dimensão 1.

Não se observa a expressão do nível quatro da D1 porque o estudante não chega a construir e usar modelos para gerar novas questões sobre o comportamento ou existência do fenômeno estudado.

Diante do fato de a atividade ter sido orientada à construção do modelo, naturalmente ela se relacionaria com a D1. A presença da D2 seria notada caso o estudante expressasse algo em relação aos modelos como entidades mutáveis. Mas, isso não foi percebido e, assim, não foi expressa a segunda dimensão.

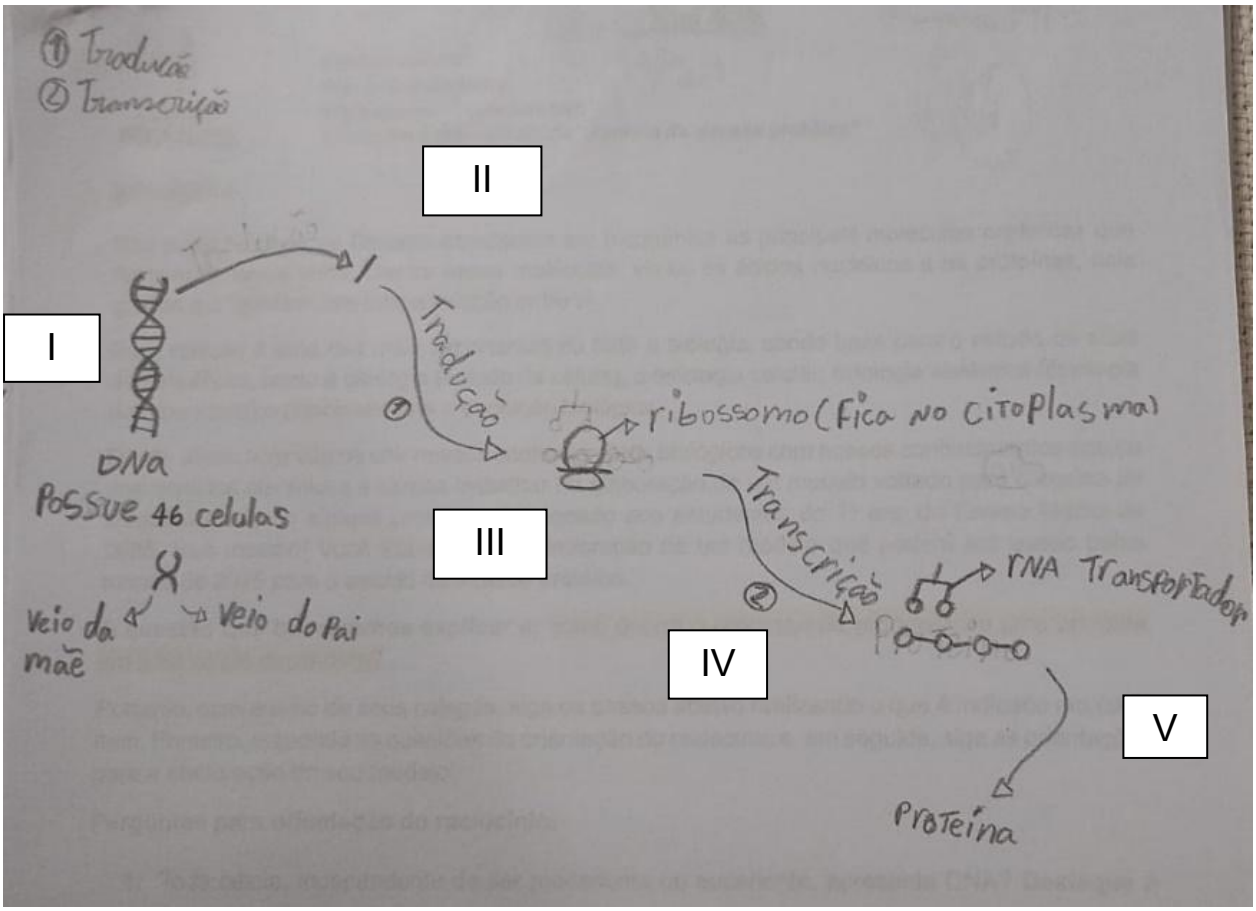


Figura 11 – Modelo do Estudante 2 da Atividade 4 (A4E2M)

Fonte: produção do Estudante 2.

A unidade de análise A4E2M divide-se em cinco partes, indicadas por algarismos romanos, ao longo de uma estrutura que integra representações visuais e legendas, seguindo o mesmo padrão do que foi apresentado pelo Estudante 1.

O modelo se inicia com a parte (I), formada pela representação de uma molécula de DNA e por um cromossomo em seu formato duplicado. O estudante acresce legendas à representação e indica a presença de quarenta e seis moléculas de DNA, o que representaria o número diplóide da espécie humana, mas erra na legenda ao escrever “células” ao invés de “cromossomos”. Há, ainda outro erro conceitual na representação do cromossomo duplicado quando cada cromátide irmã é indicada como oriunda de um dos genitores, quando o conceito correto seria que cada cromossomo duplicado de um par de cromossomos homólogos seria o que o estudante desejava representar. Contudo, ainda que esses erros tenham aparecido, a representação do cromossomo e a indicação da hereditariedade no modelo demonstram compreensão do estudante acerca da relação do material genético com a expressão das características dos indivíduos, o que se integra às demais partes do modelo a seguir.

A parte (I) se integra à (III) e essa à (V) pelas partes (II) e (IV) respectivamente, indicadas por legendas, setas e números. Há aqui um erro conceitual, quando o estudante troca a ordem dos processos transcrição e tradução. Contudo, em III ele indica corretamente a ação do ribossomo e sua localização no citoplasma da célula eucarionte, mostrando que percebe as diferentes regiões dessa.

Em (IV), o estudante representa o RNA transportador, sem muitos detalhes, exceto por uma legenda, e representa uma sequência de pequenos círculos unidos, que legenda como “proteína”, correspondendo à última parte do modelo.

A unidade de análise A4E2M exibiu menor nível de detalhamento e integração de estruturas e processos do que a unidade A4E1M, mas de forma semelhante a essa, buscou comunicar a compreensão sobre o fenômeno e como ele ocorre, consistente com a expressão da D1. Considerando que esse modelo envolveu a representação de aspectos submicroscópicos, invisíveis ao olho desarmado, e que se buscou representar movimentos moleculares, exclusivamente produtos da imaginação, percebe-se a transição do primeiro para o segundo nível da D1. Mas, considerando-se ainda que o modelo foi produzido seguindo as orientações prévias à sua construção e cuja produção se destinou a um público específico, poder-se-ia dizer que o modelo sustenta o pensamento do estudante acerca do fenômeno existente, condizente com nível três da primeira dimensão. A expressão da segunda dimensão não foi visualizada pelos mesmos motivos identificados para o Estudante 1.

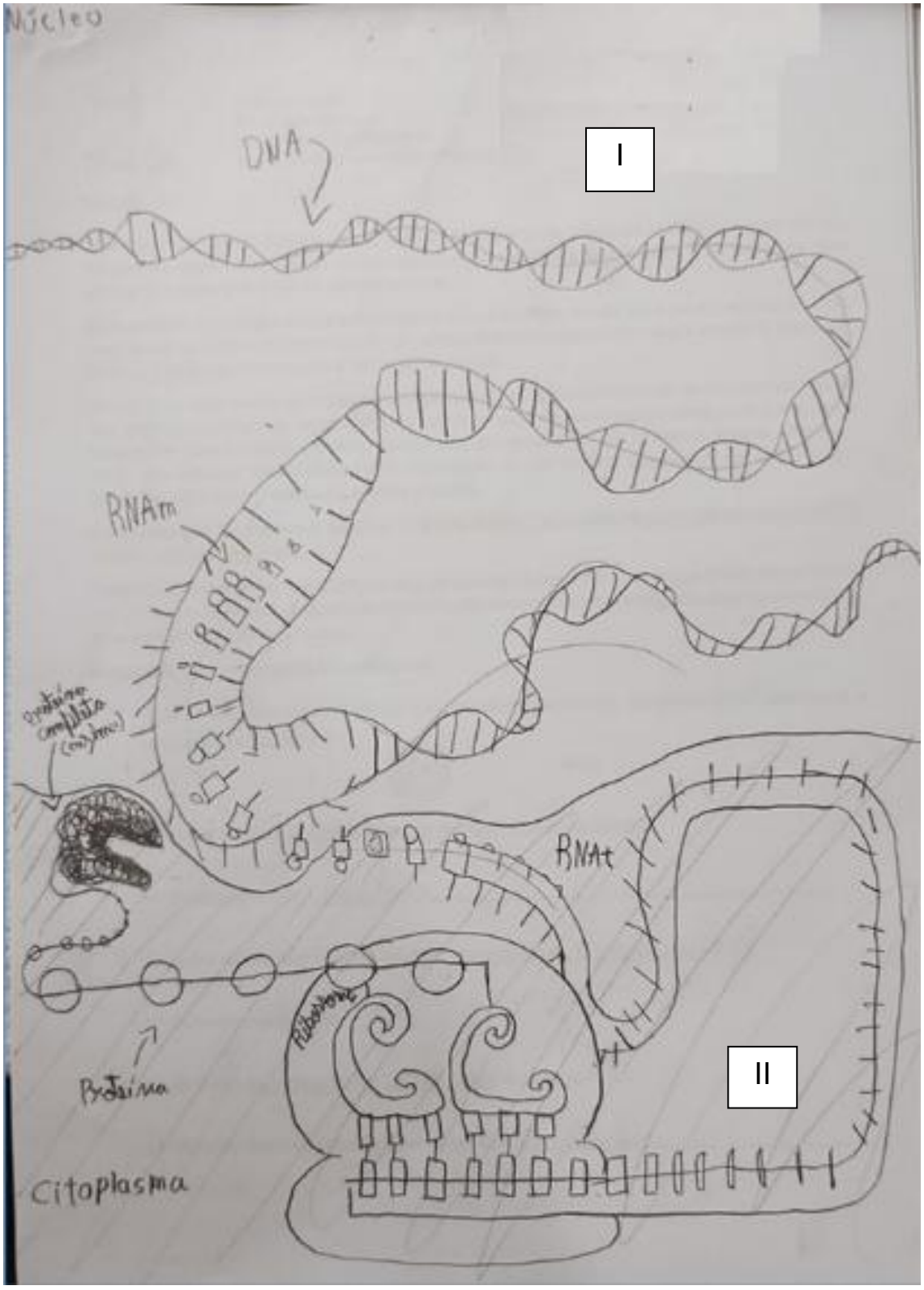


Figura 12 – Modelo do Estudante 3 da Atividade 4 (A4E3M)

Fonte: produção do Estudante 3.

A unidade de análise A4E3M se divide em duas partes, indicadas por algarismos romanos. A primeira, corresponde a uma representação do núcleo da

célula eucarionte e a segunda do citoplasma.

Em (I), o estudante representa uma longa fita de DNA em seu formato helicoidal, tal como os outros dois estudantes, mas, em seu modelo, fica mais evidente o longo comprimento da molécula. Ele apresenta legendas tanto para indicar que se trata de um processo que ocorre no núcleo quanto para indicar que sua representação corresponde ao DNA. Ainda nessa parte, em um trecho da molécula, o estudante evidencia a abertura da dupla fita, com separação das suas bases nitrogenadas, sem que isso seja legendado, e indica a inserção de nucleotídeos de RNA através de uma representação visual e de uma legenda “RNA” indicada por uma seta. O estudante separa espacialmente as duas regiões, núcleo e citoplasma, por meio de uma linha e uma área hachurada, correspondendo essa à região do citoplasma.

No citoplasma, o estudante evidencia a fita de RNA mensageiro passando pelo processo de tradução, e indica erroneamente seu nome por uma legenda: “RNAt”.

Ainda no citoplasma, o aluno desenha um ribossomo, que é indicado também por uma legenda e composto por suas duas subunidades, uma maior e uma menor, abraçando dois códons do RNAm, que não é indicado por legenda, mas que fica evidente pela representação visual que se integra à parte primeira parte do modelo (I).

Dentro do ribossomo, o estudante representa dois RNAs transportadores, sem legenda, com seus anticódons casados aos respectivos códons do RNA mensageiro, e cada um com um círculo ligado a si, correspondendo a um aminoácido. Os aminoácidos estão presos um ao outro e ainda aos seus respectivos RNAs transportadores e presos a uma cadeia de mais aminoácidos, o que sugere a representação de movimentação do ribossomo no modelo, que ilustraria a tradução. Uma legenda indica que a sequência de círculos corresponde à proteína nascente, cuja última representação é uma estrutura enovelada, estrutura terciária, que corresponde ao dobramento espacial da proteína em decorrência da interação dos radicais dos aminoácidos da cadeia polipeptídica. Ele acresce à essa representação da estrutura terciária da proteína em formação uma legenda: “proteína completa (enzima)”.

É importante destacar que a ideia de movimento se expressa em dois momentos da unidade de análise: primeiro indicando que a fita de RNA mensageiro proveniente da transcrição vai para o citoplasma e, em segundo lugar, pela representação da tradução, realizada pelo ribossomo, com a proteína ainda presa nele, mas já se dobrando espacialmente. O primeiro movimento guarda um erro conceitual, que reside no fato de que em organismos eucariontes a transcrição não

ocorre acoplada à tradução, processo característicos de organismos procariontes devido à ausência de núcleo. Mas, parece que o estudante escolheu representar dessa forma para deixar claro que seria a fita produto da transcrição a mesma que passaria pela tradução. Esse seria um ponto que, na revisão do modelo, poderia ser alterado ou deveria receber uma justificativa específica.

Já a representação do segundo movimento é de elevada complexidade e está perfeitamente representado ao se considerar que o dobramento espacial da proteína é produto da interação entre os radicais dos aminoácidos e que é já durante a tradução, realizada pelo ribossomo, que os aminoácidos vão interagindo e produzindo a conformação tridimensional da proteína que culminará em sua função biológica. Acredito que esse processo foi pensado dessa forma pelo estudante pelo fato de ele ter representado a proteína em seu formato enovelado (estrutura terciária), presa ainda a um pedaço ligado ao final da tradução (ainda ligado ao ribossomo) e tê-la legendado como “proteína completa – enzima”. As enzimas são proteínas específicas que participam de reações químicas na célula, sendo um dos principais exemplos para a ilustração de que nossa coleção de proteínas corresponde às nossas características. Isso posto, trata-se de uma representação muito elaborada.

O modelo foi dividido em menos partes pelo fato de ter praticamente todas as suas porções integradas. Ele apresentou menos legendas quando comparado aos demais modelos até agora descritos e analisados, mas exibiu maior grau de detalhamento visual das estruturas representadas, o que é indicado pela representação dos movimentos moleculares. Isso se destaca e evidencia elevado grau de abstração para um estudante de cerca de quinze anos de idade de modo que o mesmo comentário feito para o modelo do Estudante 1 em relação à sua complexidade vale para esse.

Ao mesmo tempo, sendo mais visual e com menos etapas separadas, como visto nos dois modelos anteriores, esse modelo apresenta maior grau de complexidade. Considerando que o modelo ilustra e demonstra como é o fenômeno (D1.1), comunica a compreensão do estudante sobre o fenômeno (D1.2), apoia seu pensamento sobre o fenômeno (D1.3), mas não gera novas questões (D1.4), o nível máximo expresso dentro da D1 é o terceiro. Assim como para os modelos anteriores, não houve expressão de quaisquer níveis da Dimensão 2.

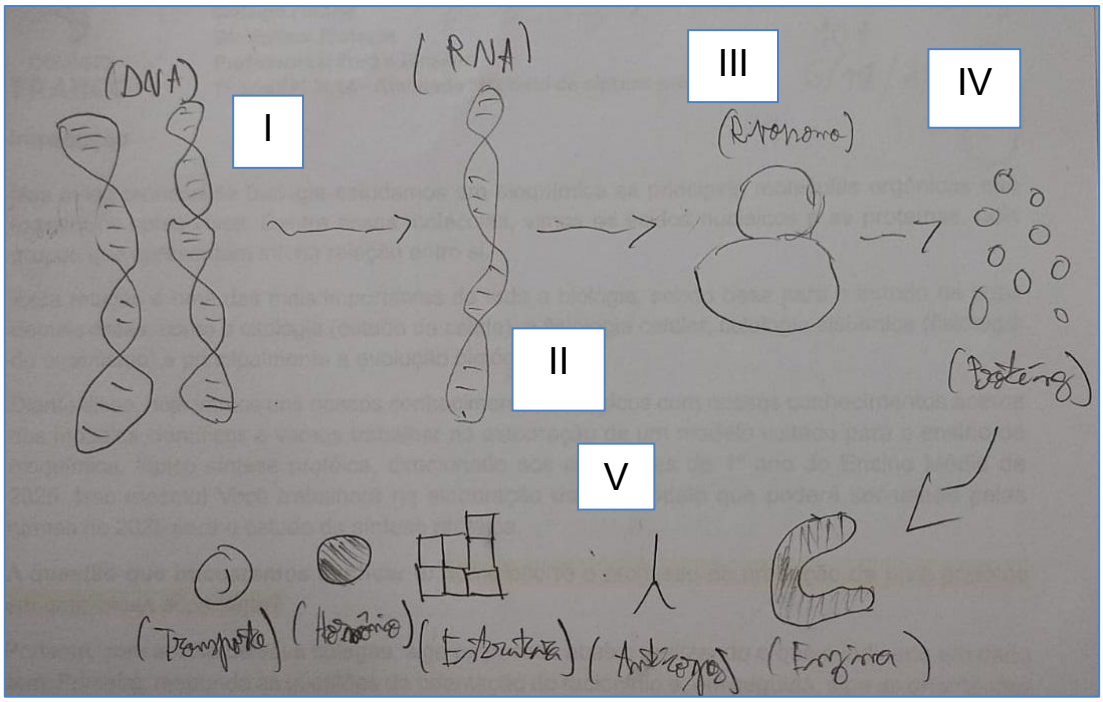


Figura 13 – Modelo do Estudante 4 da Atividade 4 (A4E4M)

Fonte: produção do Estudante 4.

A unidade de análise A4E4M, modelo do Estudante 4, divide-se em cinco partes conectadas sequencialmente. Inicialmente, o estudante representa duas moléculas de DNA, uma ao lado da outra (I) e em sua legenda indica “DNA”. Essa parte do modelo se conecta à segunda por uma seta que, sendo essa uma molécula de RNA.

A parte (III) corresponde a um ribossomo, representado por suas duas subunidades, a maior e a menor, conectadas uma à outra. Em seguida, a parte (IV) corresponde a círculos que são legendados como “proteínas”, evocando visualmente o aspecto globular da estrutura terciária de proteínas. Por fim, em (V) são feitas cinco representações diferentes: primeiro, uma hemácia, célula sanguínea responsável pelo transporte de gases no organismo e detentora de um dos principais tipos de proteínas de transporte do organismo, a hemoglobina; segundo, há um círculo, que é legendado como um hormônio, que corresponde a moléculas sinalizadoras do organismo que regulam diversos tipos de processos e respostas fisiológicas; terceiro, quadradinhos empilhados uns sobre os outros com a legenda “estrutura”, indicando a função estrutural das proteínas para o organismo; quarto, uma molécula em formato de “Y”, que corresponde a um anticorpo, legendado como tal, e cuja função é participar do sistema de defesa do organismo, o sistema imunológico, neutralizando antígenos; e,

por fim, uma molécula em formato de “C” legendada como uma “enzima”, cuja cavidade corresponderia ao sítio ativo da enzima, que não foi legendado.

O modelo do Estudante 4 se aproxima do modelo do Estudante 2 em termos de estrutura, mas exibe alguns pontos de destaque em relação aos demais modelos. Inicialmente, há um erro que poderia ser corrigido na etapa de revisão: o estudante indica duas moléculas de DNA, ambas com fita dupla e logo em seguida representa o RNA da mesma forma. Isso denota que não está claro para ele a diferença entre uma molécula de DNA (formada por duas fitas) e uma molécula de RNA (formada por apenas uma fita de nucleotídeos). Entretanto, de fato a informação parte do DNA e segue para o RNA por meio da transcrição, que também não foi indicada, ainda que tenha sido representada.

O destaque para esse modelo está na representação das cinco principais funções das proteínas para o organismo. Essa informação estava nas perguntas andaimes realizadas antes da produção do modelo e esse foi o único estudante que representou essa diversidade de formas e funções. Além disso, a forma como ele representou as funções foi bastante direta e de fácil compreensão, principalmente no que se refere ao formato do anticorpo e da enzima. No caso da hemácia, parece que ele compreende que ela é uma célula e não uma proteína, mas não há como ter certeza disso pela análise do modelo. Em todo caso, foi uma boa representação da função de transporte.

Isso posto, destaca-se que da mesma forma que para os demais modelos, esse também se desloca do primeiro para o terceiro nível da Dimensão 1, não atingindo o quarto nível. Da mesma forma que para os demais, não houve expressão da Dimensão 2.

3.1.E. Atividade 5 – *Neurospora crassa*

A quinta atividade da pesquisa se dividiu em duas partes. A primeira foi dividida em dois momentos, que compreenderam perguntas andaime iniciais que auxiliaram na produção de um protomodelo A segunda parte se iniciou com um segundo grupo de perguntas andaime, que contribuíram para a revisão do protomodelo. Essa revisão gerou um novo modelo e, depois dele, um terceiro grupo de perguntas focou na

metamodelagem. Apenas os modelos e as perguntas sobre a metamodelagem constituíram unidades de análise nessa atividade. Com a participação dos Estudantes 1, 3 e 4, foram, portanto, identificados seis modelos, um protomodelo e um modelo final para cada estudante, e treze unidades de análise a partir das perguntas sobre a metamodelagem.

De forma geral, na parte I dessa atividade houve maior expressão da Dimensão 1. Contudo, na parte II, diante da revisão e discussão dos modelos construídos, observou-se maior expressão da D2. De forma mais específica, o quadro a seguir apresenta as expressões absolutas dos níveis e suas dimensões para cada estudante em cada momento da atividade, considerando suas duas partes. Após o quadro apresentaremos, analisaremos e relacionaremos os protomodelos e modelos construídos pelos estudantes e as respostas das perguntas sobre metamodelagem, de modo que possamos colorir os resultados numéricos do Quadro 22.

Quadro 22 – Expressão individual de D1 e D2 e seus níveis na Atividade 5

Estudante	**Parte I**	**Parte II**	
	Modelo	**Nº Pergunta Modelo**	**Dimensão Nível**
1	D1.2	1	D2.3
		2	D2.2
		3	D2.3
		4	D2.3
		Modelo	D2.3
2	-		
3	D1.4	1	D2.3
		2	D2.3
		3	D2.3
		4	D2.3
		Modelo	D2.4
4	D1.2	1	D2.3
		2	D2.3
		3	D2.3
		4	D2.4
		Modelo	D2.4

Fonte: a pesquisa.

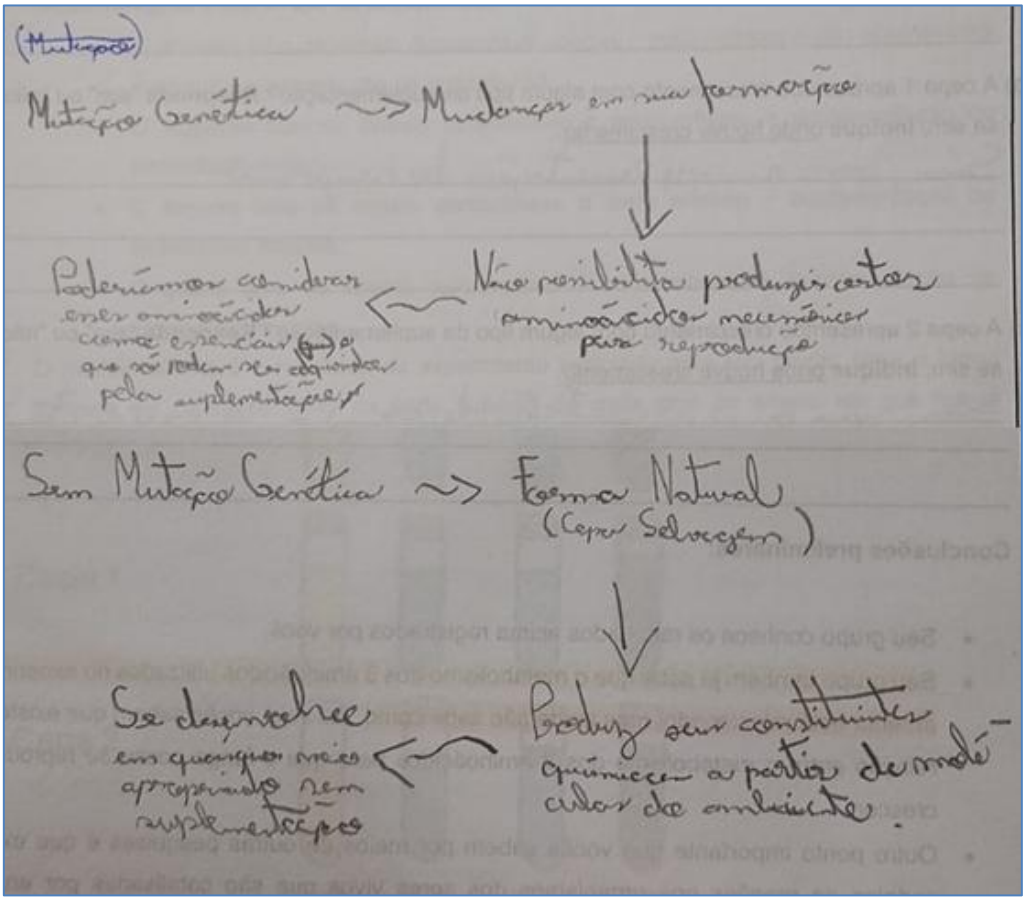


Figura 14 – Modelo do Estudante 1 da Atividade 5 Parte 1 (A5E1P1M)

Fonte: produção do Estudante 1.

O modelo A5E1P1M possui apenas unidades textuais, sendo, portanto, uma espécie de fluxograma. Dois mapas conceituais podem ser identificados no mesmo modelo. De forma geral, ambas as representações são descrições diretas do que foi observado pelo estudante no experimento realizado, mas servem também para apoiar seu pensamento e sua compreensão sobre o fenômeno observado de acordo com as evidências do experimento. Logo, pode-se dizer que organizou seu pensamento em etapas conectadas por setas, representando de forma direta os dados empíricos evidenciando causa e consequência. Ele demonstra compreender o que o experimento apresenta: que os organismos ditos selvagens produzem seus constituintes químicos a partir de moléculas presentes no ambiente e que os indivíduos “knockout”, geneticamente mutantes, não conseguem produzir alguns tipos de aminoácidos necessários à sua reprodução, tendo como conclusão que os aminoácidos ausentes no experimento seriam essenciais ao metabolismo do organismo necessitando serem ingeridos por esse para seu bom funcionamento.

Fica claro que o experimento foi representado pelo estudante de forma direta, ou seja, pode-se dizer que os requisitos para classificação do modelo dentro da Dimensão 1 contemplaram seus níveis um e dois por que o estudante: (a) construiu um modelo para mostrar como é o fenômeno e (b) ilustrou de forma literal um único fenômeno (nível um) – a reprodução do fungo nos meios de cultura com e sem suplementação. Além disso, pode-se destacar que o estudante vê o modelo como um meio de comunicar sua compreensão sobre o fenômeno (c) e leva em consideração as evidências sobre o fenômeno (portanto, nível dois da D1). Poder-se-ia dizer que houve um início de deslocamento do segundo para o terceiro nível da D1 à medida que o estudante utiliza o modelo para apoiar seu pensamento sobre o fenômeno, mas pelo fato de não ser perceptível que ele considere alternativas na construção do modelo, seria plausível manter a classificação ainda no nível dois. Não houve identificação da expressão da D2.

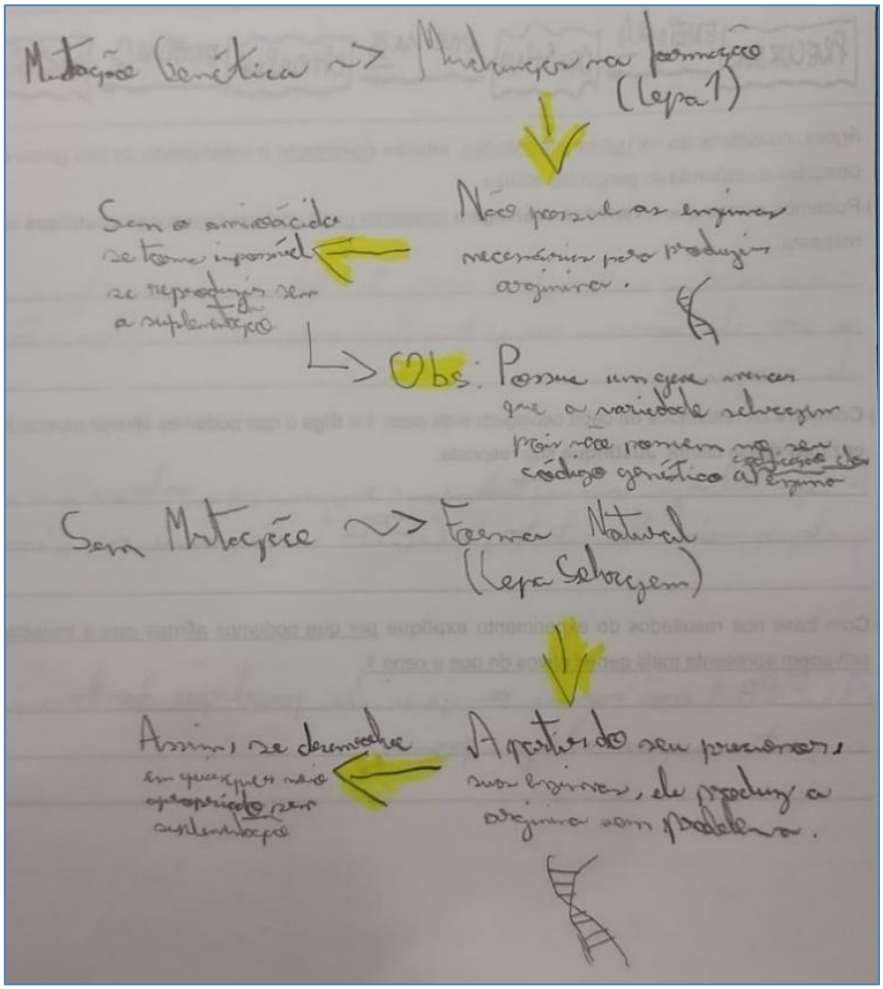


Figura 15 – Modelo do Estudante 1 da Atividade 5 Parte 2 (A5E1P2M)

Fonte: produção do Estudante 1.

O segundo modelo da atividade seguiu a mesma estrutura do modelo anterior: uma espécie de mapa conceitual. Fica evidente que o estudante revisou seu primeiro modelo modificando-o a partir de informações oriundas dos novos resultados oferecidos na parte II da atividade. Agora, ao invés de dizer "*Não possibilita produzir certos aminoácidos necessários para reprodução*" ele diz "*não possui as enzimas necessárias para produzir a arginina*". Considerando que essa é uma informação oferecida pelo roteiro, ele realizou uma leitura direta. Contudo, ele acrescenta uma representação visual logo abaixo do texto, uma alfa-hélice do DNA, o que indica sua compreensão sobre a relação do DNA com a produção dessa enzima específica. Isso fica evidente na observação que ele cria ao final da primeira cadeia de pensamentos de seu mapa conceitual, que diz "*Possui um gene (ilegível) que a variedade selvagem pois não possuem no seu código genético a codificação da enzima*". Nesse trecho fica evidente que com os novos dados fornecidos pelos resultados do "grupo internacional de pesquisa" o estudante conseguiu relacionar que as enzimas indicadas na cadeia de reações eram codificadas pelo material genético. Logo, ele estabelece corretamente a relação que o modelo do experimento do fungo *N. crassa* ilustra. Ou seja, ele compreendeu o experimento, decodificando-o sem que o professor desse as informações. Ele construiu um modelo para sustentar seu pensamento e nele fez alterações de acordo com novas informações, expressando o terceiro nível da D2, já que ele enxerga os modelos como entidades mutáveis e que ele revisa "*modelos para melhor ajustar as evidências obtidas e melhorar a articulação de um mecanismo no modelo.*" (SCHWARZ *et al.* 2009, tradução nossa, p. 647).

A segunda parte de seu fluxograma no modelo revisto é uma elaboração da segunda parte do fluxograma do primeiro modelo. As informações são praticamente as mesmas, exceto pelo acréscimo da relação genética entre o DNA e as enzimas codificadas. Ele, portanto, demonstra compreender integralmente que o fungo selvagem possui os genes necessários à produção das enzimas que metabolizam os aminoácidos ativos e operantes ao dizer que: "*A partir do seu precursor e de suas enzimas, ele produz a arginina sem problemas*", ao que acresce, logo abaixo, a mesma representação do DNA (alfa-hélice) que desenhou anteriormente na primeira parte do fluxograma desse segundo modelo (modelo revisto). Ele termina dizendo que "*Assim, se desenvolve em quaisquer meio apropriado sem suplementação*".

Pode-se dizer que o estudante não expressou o nível quatro da Dimensão 1. Isso porque os modelos construídos pelo estudante não foram feitos para "*gerar novas*

questões sobre o comportamento ou existência dos fenômenos" (SCHWARZ *et al.* 2009, tradução nossa, p. 640). Contudo, seguramente pode-se dizer que ele expressa o terceiro nível da Dimensão 1, considerando que houve expressão de alternativas na construção dos modelos com base nas fraquezas, identificadas com os novos resultados da segunda fase do experimento, de modo que houve mudanças no modelo inicial resultando, portanto, em um modelo alternativo. Assim, parece plausível afirmar que o primeiro modelo estivesse mais relacionado aos níveis um e dois da Dimensão 1, ainda que já estivesse começando a expressar um início de manifestação do terceiro nível, o que se concretiza efetivamente após a revisão do modelo inicial, dando origem ao novo modelo e a mais madura expressão do terceiro nível da Dimensão 1. Mas, considerando-se que esse processo é oriundo da revisão realizada no protomodelo, tendo gerado mudanças, o estudante expressa também o nível três da D2.

Portanto, considerando o que é destacado por Schwarz *et al.* (2009), que utilizarmos a progressão da aprendizagem para avaliar o trabalho que envolve a construção de modelos não se restringe a simplesmente identificar quais níveis são ou não expressos dentro de uma escala de níveis, destaca-se que o aspecto mais importante é observar como o estudante se expressou tanto na construção do protomodelo quanto na revisão, que resultou no segundo modelo. Identificar o caminho de pensamento que ele realiza a partir dos dados do experimento, de modo que seus modelos expressos evidenciam que seu modelo mental preencheu as lacunas a partir dos dados empíricos relacionando as informações com os conceitos estudados, é o que há de mais relevante. Logo, em uma aula tradicional, o experimento com *N. crassa* poderia simplesmente ter sido mostrado em sala pelo professor, como ocorre com uso da maioria dos modelos utilizados durante as aulas de Biologia, Química e Física, mesmo durante as aulas de laboratório, que normalmente exibem caráter meramente ilustrativo. A seguir, vemos o Quadro 22, que apresenta as unidades de análise provenientes das perguntas a respeito dos modelos produzidos, sua categorização em dimensão e nível e a relação que cada uma apresenta com os modelos produzidos.

Quadro 22: unidades de análise textuais e sua relação com os modelos produzidos pelo Estudante 1 na Atividade 5

Unidade Texto	Dimensão Nível	Interpretações e relações com os modelos
Pergunta 1 – Como os resultados do experimento analisado nesse roteiro poderiam nos ajudar a verificar se o modelo proposto por você na aula passada está correto? Justifique sua resposta.		
"sim, as informações sobre o tamanho e como os genes armazenam informações apresentadas no modelo anterior se relacionam diretamente. (A5E1P2Q1)"	D2.3	O aluno relaciona/compara seus modelos indicando que seu segundo modelo oferece mais informações do que o primeiro, o que estaria alinhado à expressão do segundo nível da Dimensão 2. Contudo, é possível notar que essa comparação foca principalmente nos componentes do modelo que fornecem uma explicação mais completa, ainda que direta e mecânica, o que estaria alinhado à expressão do terceiro nível da Dimensão 2.
Pergunta 2 – Considerando o experimento analisado hoje e as suas respostas anteriores, quais partes do seu modelo da aula passada você acha que poderiam ser ajustadas?		
"Acredito que mais informações poderiam ser adicionadas ao descrever do nosso aprendizado a fim de adquirir mais informações. (A5E1P2Q2)"	D2.2	O texto do estudante expressa a D2 e se encaixa no nível 2, por sua proposta de mudança se relacionar à "*modificações para melhorar o detalhe, a clareza ou adicionar novas informações, sem considerar o poder explicativo do modelo ou seu ajuste com a evidência empírica.*" (SCHWARZ *et al.* 2009, tradução nossa, p. 647).

Pergunta 3 – Como essas modificações podem colaborar para entendermos melhor a relação do DNA com as proteínas?		
"Novas informações possibilitam o ampliamento do conhecimento (ilegível) o DNA com as proteínas e como as mutações genéticas impossibilitam a criação de certas proteínas (enzimas), o que significa menos tamanho do gene. (A5E1P2Q3)"	D2.3	A indicação de que novas informações estariam relacionadas à expansão do conhecimento estaria relacionada às evidências obtidas a partir do experimento realizado, ilustrando a revisão do modelo para "*melhor ajustar as evidências obtidas e melhorar a articulação de um mecanismo do modelo*" (SCHWARZ *et al.* 2009, tradução nossa, p. 647), melhorando seu poder explicativo, o que se encaixa no terceiro nível da Dimensão 2.
Pergunta 4 – Por que é importante revisar e trabalhar modelos científicos? Como isso se aplica ao seu modelo atual de síntese proteica?		
"Revisar é sempre importante pois nos permite entender nossos erros e adicionar informações. (A5E1P2Q4A) Isso se aplica diretamente com as mudanças	D2.3	O texto exprime claramente o tetraedro de Gilbert e Justi (2016), evidenciando o teste e avaliação do processo de modelagem, bem como o caráter mutável dos modelos e seu suporte ao pensamento, reforçando o deslocamento do estudante por níveis mais elaborados de percepção do significado dos modelos para a Ciência. (A5E1P2Q4A) E ao dizer que as novas informações, adquiridas através do experimento, podem gerar mudanças no modelo, o estudante reforça a expressão do terceiro nível da D2, pois nela "*Os alunos revisam modelos para melhor*

que podem ser feitas nele através das informações adquiridas.” (A5E1P2Q4B)		*ajustar as evidências obtidas e melhorar a articulação de um mecanismo no modelo. Assim, os modelos são revisados para melhorar seu poder explicativo*” (SCHWARZ *et al.* 2009, tradução nossa, p. 647).

Fonte: produção nossa.

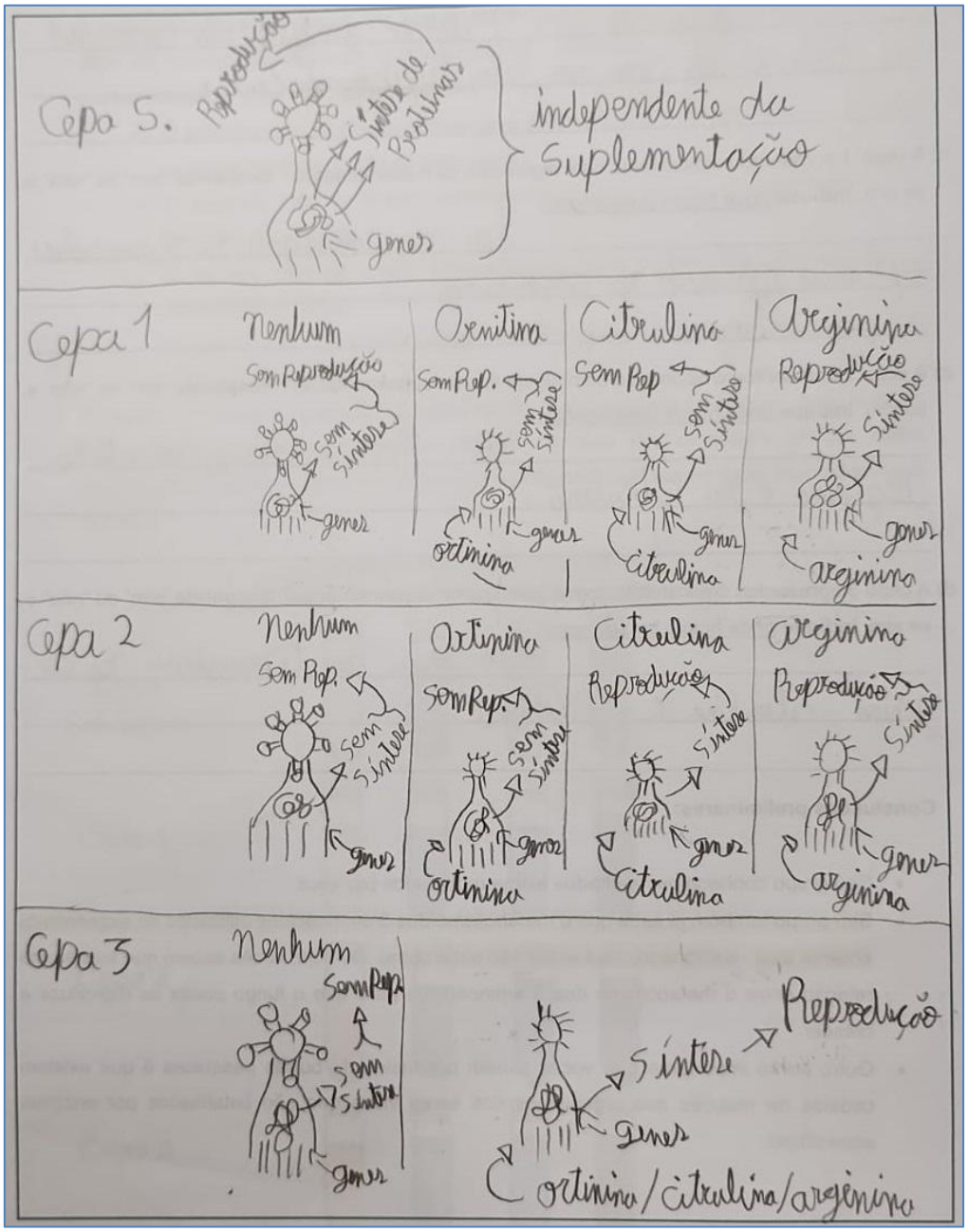


Figura 16 – Modelo do Estudante 3 da Atividade 5 Parte 1 (A5E1P1M)

Fonte: produção do Estudante 3.

O Estudante 3 construiu um modelo composto por quatro partes, uma para cada cepa do fungo apresentado no experimento. Para a representação da cepa selvagem, o estudante fez um desenho cujo objetivo parece ser representar o organismo do fungo, incluindo legendas com as palavras “genes”, “síntese de proteínas” e “reprodução”. Assim, diferentemente do Estudante 1, o Estudante 3 já incluiu em sua representação o conceito de “genes”, relacionando-o à produção de proteínas. Isso constitui algo relevante se considerarmos que não havia nos dados oferecidos no experimento qualquer indicação a respeito da genética dos fungos. Ele indicou, para a cepa selvagem, que o fungo crescia em ausência de suplementação.

Em seguida, para as cepas 1, 2 e 3, o estudante manteve o padrão de representação visual utilizado para a cepa selvagem: o corpo do fungo, a indicação dos genes e da síntese proteica, mas, agora, destacou os meios de cultura e os aminoácidos oferecidos, indicando onde houve e onde não houve crescimento. Isso constituiu uma reprodução direta do que estava evidente nos tubos de ensaio apresentados no roteiro, ilustrando a decodificação do experimento pelo estudante, que o representou em seu modelo de forma correta e precisa.

Pode-se dizer, portanto, que para esse protomodelo, o Estudante 3 percorreu a Dimensão 1 expressando de forma clara seus primeiros dois níveis uma vez que construiu representações literais do fenômeno (D1.1), comunicou sua compreensão sobre o fenômeno (D1.2) e ilustrou e explicou o fenômeno com base nas evidências (D1.2). Mas, há que se destacar que assim como realizado pelo Estudante 1, o Estudante 3 utilizou o modelo para apoiar seu pensamento e fez uso de mais de um modelo para explicar os aspectos do fenômeno, e fez isso de forma mais profunda ao já relacionar os resultados observados. Isso, portanto, poderia indicar um início de transição para o quarto nível da D1, considerando que ao relacionar os genes com a produção de proteínas, que justificaria a reprodução das diferentes cepas dos fungos nos diferentes meios de cultura, o aluno estaria usando seus modelos para gerar novas questões sobre o fenômeno estudado, portanto, D1.4.

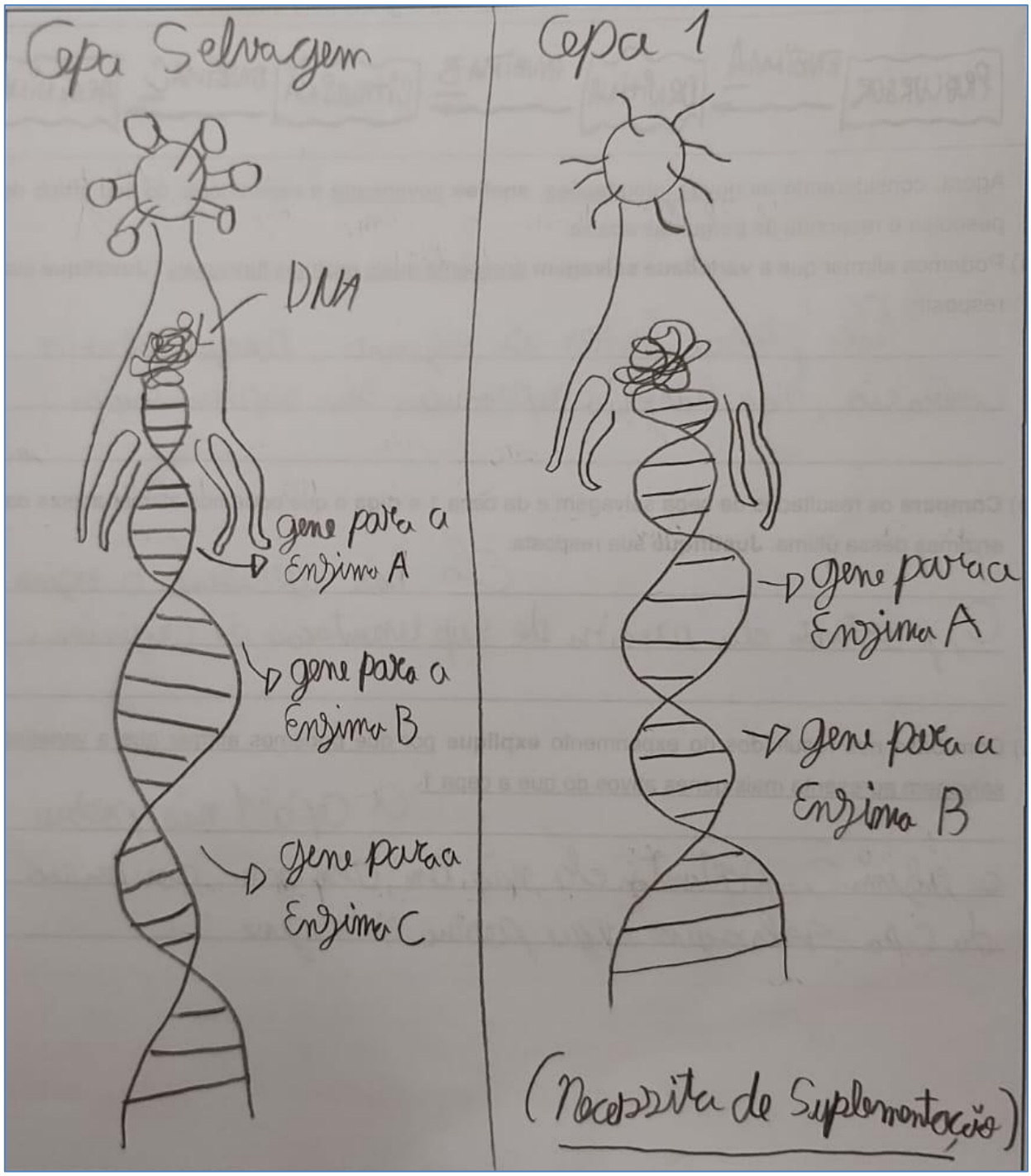


Figura 17 – Modelo do Estudante 3 da Atividade 5 Parte 2 (A5E3P2M)

Fonte: produção do Estudante 3.

O segundo modelo construído pelo Estudante 3, produto da revisão de seu protomodelo, constituiu-se como uma versão mais aprofundada do primeiro, ainda que com menor quantidade de informações. Dessa vez, o estudante focou na

representação do aspecto genético que inseriu brevemente no protomodelo, agora confirmado pela cadeia de reações enzimáticas apresentadas na atualização do experimento.

Assim, o mesmo desenho de que fez uso no protomodelo foi aqui utilizado, mas recebeu novas partes, as enzimas. Ele, portanto, confirmou sua hipótese de que cada fungo apresentaria genes específicos para produção de proteínas específicas, agora denominadas enzimas. Ele nomeou os genes de acordo com o nome de cada enzima indicada no experimento. Apesar de serem quatro cepas totais, uma selvagem e três "knockout", o estudante fez um modelo apenas comparando a cepa selvagem com a cepa um, evidenciando que a primeira apresentava os quatro genes ativos e, portanto, todas as enzimas ativas, não necessitando de suplementação, ao passo que a cepa um, por não apresentar o "gene C" ativo, necessitaria de suplementação.

Foi muito importante poder observar que o estudante confirmou sua hipótese desenhada no protomodelo, evidenciando que a etapa de teste apresentou, nesse caso, viés de confirmação. Da mesma forma, a etapa de avaliação produziu mudanças nas representações visuais. Mas, é interessante que o protomodelo tenha dado origem a um novo modelo sem correções. Ele, na verdade, criou um novo modelo para sustentar seu pensamento e representar suas conclusões obtidas a partir dos dados empíricos. Dessa forma, fica agora evidente que ele revisou seu modelo para "*ajustar as evidências obtidas e melhorar a articulação de um mecanismo no modelo*" (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 647) sustentando que "*modelos são revisados para melhorar seu poder explicativo*" (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 647), o que expressa o terceiro nível da D2. Contudo, pode-se dizer ainda que ele avalia um modelo concorrente, ainda que seja um modelo construído por ele mesmo (seu protomodelo), e considera combinações de aspectos dos dois modelos para melhorar a explicação do fenômeno, o que indica a expressão do quarto nível da D2.

É importante novamente destacar: a expressão desses níveis ilustra como o estudante foi capaz de progredir na sua forma de representar aquilo que era por ele estudado e analisado, sendo capaz de relacionar seus conhecimentos prévios com a intepretação dos resultados empíricos, não sendo meramente um encaixe de unidades em categorias específicas.

Quadro 23: unidades de análise textuais e sua relação com os modelos produzidos pelo Estudante 3 na Atividade 5

Unidade Texto	Dimensão Nível	Interpretações e relações com os modelos
Pergunta 1 – Como os resultados do experimento analisado nesse roteiro poderiam nos ajudar a verificar se o modelo proposto por você na aula passada está correto? Justifique sua resposta.		
"Se essa nova folha não contradiz meu modelo anterior, então meu modelo anterior está correto. (A5E3P2Q1)"	D2.3	Essa unidade de análise reforça o que discutimos para o modelo final que o estudante criou para a atividade. Portanto, o que dissemos a partir da interpretação de seus protomodelo e modelo é confirmado por sua fala, que relaciona as informações e chega, de forma autônoma, à confirmação de que seu protomodelo já era válido, ratificando nossa análise ao confirmar que o modelo final foi um novo modelo. Isso indica que o aluno comparou seus modelos para averiguar os seus componentes, alinhado ao terceiro nível da D2.
Pergunta 2 – Considerando o experimento analisado hoje e as suas respostas anteriores, quais partes do seu modelo da aula passada você acha que poderiam ser ajustadas?		
"Poderia aprofundar mais na parte de produção de enzima, pois não há presença de enzimas do meu modelo anterior. **(**A5E3P2Q2)"	D2.3	A unidade de análise indica que o estudante, ao revisar seu protomodelo, identifica que não utilizou o conceito de "enzimas", apesar de ter feito menção às proteínas. Dessa forma, ele avalia a possibilidade de enriquecer seu primeiro modelo, mas utiliza a ideia de aprofundamento e não de correção, o que reforça o produto da análise de A5E3P2Q1 (unidade anterior). Isso se alinha ao terceiro nível da D2.
Pergunta 3 – Como essas modificações podem colaborar para entendermos melhor a relação do DNA com as proteínas?		
"Para se explicar	D2.3	No texto o aluno faz uma generalização bastante

como o DNA pode produzir enzimas que atuam de diversas maneiras no corpo, mais especificamente a catabólise e a anabólica. (A5E3P2Q3)”		sólida ao expandir as conclusões do experimento, que utilizou um fungo, para o comportamento metabólico do ser humano – primeiro trecho em destaque. O segundo trecho aborda o catabolismo e o anabolismo, as duas dimensões do metabolismo, que corresponde ao conjunto de reações químicas dos organismos vivos, quase que totalmente mediado por enzimas (proteínas). Sua resposta mais uma vez ratifica sua compreensão sobre a relação do material genético com a produção de proteínas e sustenta sua compreensão sobre como o DNA, portanto, realiza o controle das funções fisiológicas do organismo a partir da produção das enzimas que catalisam as inúmeras reações químicas, outra generalização importantíssima. Tudo isso alinha a unidade ao nível três da D2 na medida que o estudante indica os ajustes oriundos da revisão que melhorariam seu poder de explicação.
Pergunta 4 – Por que é importante revisar e trabalhar modelos científicos? Como isso se aplica ao seu modelo atual de síntese proteica?		
“É importante para o entendimento da matéria e capacidade de entendimento do conteúdo. Isso pode se aplicar em qualquer assunto, por exemplo. O modelo de síntese proteica que precisa	D2.3	As duas primeiras frases em destaque indicam que o estudante compreende que modelos são importantes para o estudo e compreensão de fenômenos diversos, aqui delimitados como “matéria”, algo restrito ao conhecimento escolar. Na segunda frase ele expande o raciocínio dizendo que a construção de modelos seria aplicável a qualquer assunto. A última sentença, no entanto, evidencia algo muito interessante. Ainda que o Estudante 3 tenha expressado em vários momentos distintos até agora níveis avançados dentro da progressão, principalmente no que se refere à D1, ele enxerga que seu modelo estaria malfeito. Não há como saber especificamente o porquê disso. Mas, o que se pode destacar a partir dessa fala é sua

melhorar, pois atualmente, está mal feito (A5E3P2Q4)".		percepção de que seu modelo precisaria oferecer explicações mais completas, até mecanicistas, em relação ao fenômeno estudado, o que corresponde ao nível três da D2.

Fonte: produção nossa.

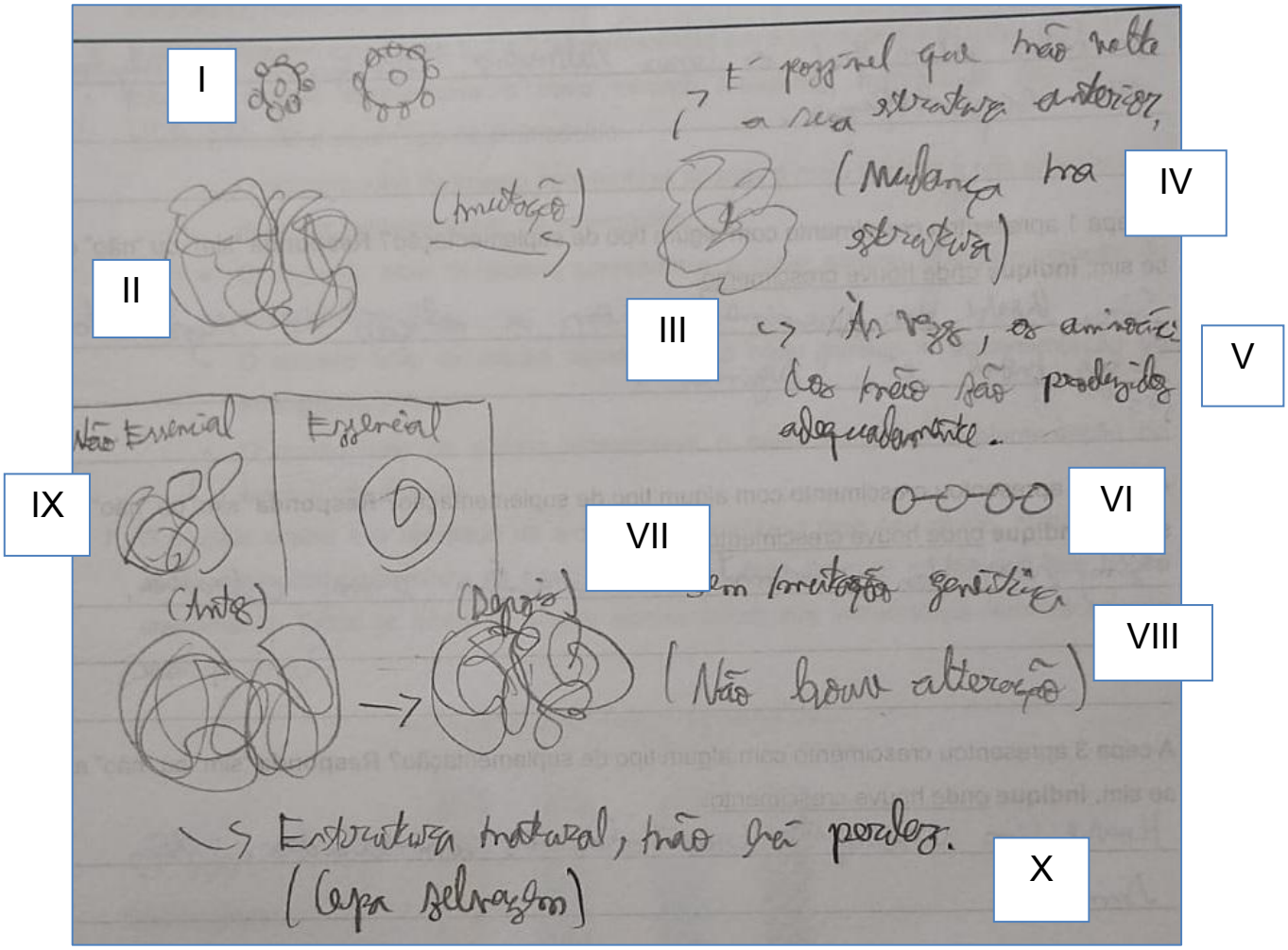


Figura 18 – Modelo do Estudante 4 da Atividade 5 Parte 1 (A5E4P1M)

Fonte: produção do Estudante 4.

O Estudante 4 destaca, na porção esquerda superior do modelo (I), dois desenhos que parecem ser representações do fungo. Logo abaixo, ele desenha um emaranhado (II), que parece representar uma proteína em sua estrutura terciária (um novelo de proteína). Ao puxar uma seta, ele evidencia que tal proteína teria mudado sua conformação tridimensional, indicando isso por um novo formato para o novelo (III) e por uma legenda (IV) que diz "É possível que não volte a sua estrutura anterior" e "Mudança na estrutura". A seta que liga as duas formas da proteína é legendada com

“mutação”. Ele ainda acrescenta que “Às vezes, os aminoácidos não são produzidos adequadamente.” (V) e logo abaixo desenha bolinhas encadeadas, o que poderia representar a sequência de aminoácidos (VI).

A seguir, na porção inferior do produto de conhecimento, o estudante desenha novamente dois novelos de proteína, mas deixa claro que, de seu estado legendado como “antes” para o “depois” não houve alteração da conformação tridimensional da proteína (VII), o que ele destaca ao lado direito com duas legendas: “Sem mutação genética” e “Não houve alteração” (VIII). Por fim, ele puxa uma seta a partir da proteína indicada como “antes” e diz “Estrutura natural, não há perda” (IX) e diz ainda “Cepa selvagem” (X).

Assim, pode-se interpretar de forma segura que o modelo do Estudante 4 representa a cepa selvagem, sem mutação, não sofrendo alteração da conformação tridimensional de suas proteínas, ao passo que as demais cepas apresentariam alguma modificação na estrutura de suas proteínas, o que acarretaria problemas na produção dos aminoácidos e determinaria o crescimento diferencial dos fungos nos diferentes ambientes, sendo essa última parte sublinhada a nossa inferência sobre o que foi elaborado do modelo como um todo.

Logo, o modelo do Estudante 4 aborda aspectos diferentes daqueles que os outros dois estudantes evidenciaram, sendo complementar a eles. Em comum com o modelo do Estudante 1, o Estudante 4 evidenciou a palavra “mutação”, mas diferentemente do Estudante 3, e da mesma forma que o Estudante 1, não fez menção ao material genético em seu protomodelo. Seria seguro dizer que a Dimensão 1 foi expressa até o nível dois, visto que o aluno construiu um modelo “par ilustrar e explicar como um fenômeno ocorre, consistente com as evidências sobre o fenômeno” (SCHWARZ *et al.* 2009, p. 640).

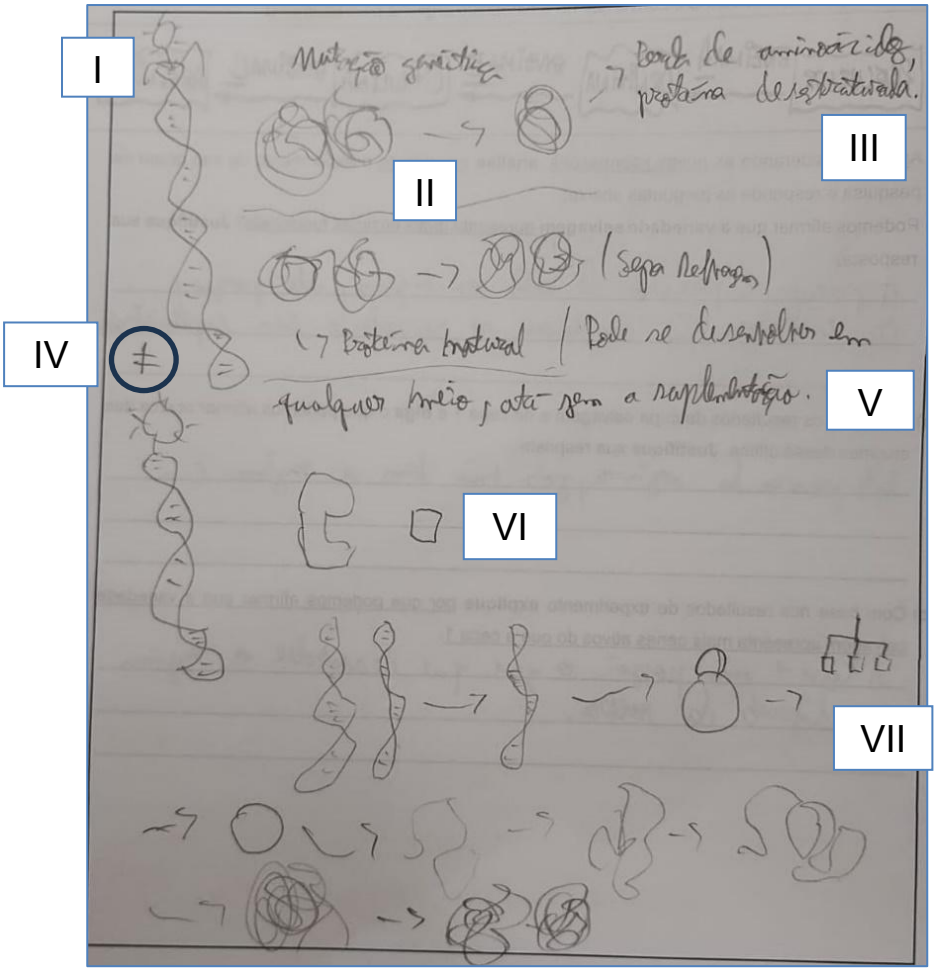


Figura 19 – Modelo do Estudante 4 da Atividade 5 Parte 2 (A5E4P2M)

Fonte: produção do Estudante 4.

Em seu novo modelo, constituído por sete partes, o estudante amplia as representações sobre o processo que ilustra a relação do material genético com a estrutura das proteínas. Inicialmente ele desenha uma molécula de DNA (I), que exibe em sua porção superior uma pequena estrutura em formato circular com tracinhos, lembrando bastante a forma como o Estudante 3 representou o que seria o corpo do fungo *N. crassa*, algo natural para um trabalho que foi feito individualmente, mas discutido coletivamente.

Em (II), o aluno reproduz parte do protomodelo evidenciando o novelo de proteína alterado com uma seta legendada por “mutação genética”. Ao final dessa representação, outra legenda (III) “Perda de aminoácidos, proteína desestruturada” é acrescida ao sistema. Isso indica que o estudante enxerga que mutações no material genético alteram a forma das proteínas e que essa alteração impede seu adequado funcionamento. Essa visão exibe camadas de significado dentro da relação DNA-

proteína, que fica evidente na parte (V) de seu modelo, quando ele representa dois pares novelos de proteínas (estruturas terciárias) separados por uma seta sem que haja alteração em sua conformação tridimensional, tudo legendado por “cepa selvagem”. Logo, para ele, não houve mudança na estrutura das proteínas na cepa selvagem, que é determinado pela legenda “proteína natural (pode se desenvolver em qualquer meio, até sem suplementação”. Então, o aluno claramente percebeu que as cepas “knock-out” não apresentavam enzimas (proteínas) funcionais diante de alterações em seus genes, o que interferiria no funcionamento de suas enzimas. Isso é ilustrado pelo singelo esquema de uma enzima com seu substrato (VI), que não estão legendados, mas para os quais podemos atribuir esse significado diante do fato de que todo substrato possui formato complementar ao sítio ativo de sua enzima.

Conectando as duas partes, superior e inferior do modelo, o estudante faz uma representação que sustenta toda a análise até agora realizada: no espaço entre o desenho (I) e o (IV), nota-se o sinal “≠” (destacado com um círculo), indicando que a parte superior do modelo difere do que é representado em sua porção inferior. Isso exprime a comparação que o aluno faz entre a cepa selvagem e as cepas “knock-out”, e ele representa moléculas de DNA no início de cada cadeia de representações.

O término de seu modelo é a reprodução do modelo construído por ele na Atividade 4. É como se ele tivesse realizado um “copia e cola”, integrando completamente o modelo da quarta atividade com esse novo modelo da quinta atividade, conservando, inclusive, o erro conceitual com a presença de duas moléculas de DNA fita dupla no início da cadeia de representações que ele usa para evidenciar o processo de síntese proteica, ilustrado por DNA-ribossomo-RNAt (transportador)-proteína globular-formatos de proteínas. A sensação é a de que ele literalmente colocou no papel seu modelo mental, conectando por setas, de forma direta, o que via em sua cabeça, sem mesmo parar para organizar e classificar tudo o que ali estava representando, evidenciando o que parece ser um processo genuíno de produção de um modelo expresso intimamente conectado ao seu modelo mental. Essa revisão associada à combinação de modelos expressaria o quarto nível da D2, já que o aluno avaliou mais de um modelo concorrente, ainda que tenham sido todos produzidos por ele mesmo, e combinou aspectos para melhorar seu poder de explicação.

Quadro 24: unidades de análise textuais e sua relação com os modelos produzidos pelo Estudante 4 na Atividade 5

Unidade Texto	Dimensão Nível	Interpretações e relações com os modelos
Pergunta 1 – Como os resultados do experimento analisado nesse roteiro poderiam nos ajudar a verificar se o modelo proposto por você na aula passada está correto? Justifique sua resposta.		
"Acredito que os modelos estejam bastante diferentes. Eu aprofundei mais a questão da mutação genética e um pouco mais sobre as proteínas. (A5E4P2Q1)"	D2.3	No primeiro período dessa unidade de análise, o estudante compara seus modelos, e destaca que há diferença entre eles que, no segundo período, é delimitada por processos que ele julga serem importantes. Ele não corrige seu modelo, apenas destaca aquilo em que trabalhou para melhorar seu poder explicativo, expressando o terceiro nível da Dimensão 2.
Pergunta 2 – Considerando o experimento analisado hoje e as suas respostas anteriores, quais partes do seu modelo da aula passada você acha que poderiam ser ajustadas?		
"Eu poderia falar mais sobre as relações do DNA e proteína, juntamente com as mutações genéticas e desnaturação proteica. (A5E4P2Q2)"	D2.3	Ao avaliar seu novo modelo e compará-lo com o da aula anterior, o estudante foca num ponto essencial: a relação do DNA com a proteína, evidenciando como seu novo modelo contempla, agora, à luz de novas informações e conhecimentos, algo que antes ele não pôde representar. Há um erro conceitual quando ele fala em "desnaturação proteica", visto que esse processo ocorre quando alterações em condições do ambiente da proteína desencadeiam a perda de sua forma e, portanto, função. A desnaturação não está associada às mutações, mas é plausível que o

		estudante tenha utilizado essa palavra para designar a ideia de perda da forma “normal” da proteína, o que de fato estaria relacionado às mutações. Logo, a mesma justificativa para delimitação do nível da unidade de análise anterior (A5E4P2Q1) se aplica à essa: D2.3.
Pergunta 3 – Como essas modificações podem colaborar para entendermos melhor a relação do DNA com as proteínas?		
“O DNA contém as informações genéticas que são fundamentais para fazer os processos necessários à transcrição e tradução, para logo em seguida produzir proteínas através da cadeia de aminoácidos, que são blocos de produção de proteínas. (A5E4P2Q3)”	D2.4	O aluno demonstra encadeamento conceitual completo em relação às etapas e processos da síntese proteica. É importante se destacar que esse conteúdo foi trabalhado tanto na série anterior com a turma, o 9º ano, quanto no ano corrente da pesquisa, conforme dito previamente. Mas, a complexidade do processo de síntese proteica é elevada para qualquer pessoa, seja um estudante da educação básica ou do ensino superior, ainda que guardadas as devidas proporções de maturidade e de quantidade e profundidade das informações. Isso posto, é bastante relevante se considerar que o texto redigido pelo estudante ao final do processo de modelagem, que envolveu várias atividades sequencialmente planejadas, permite que ele, de forma muito segura, encaixe e relacione conceitos biológicos. Porém, mais relevante do que saber os conceitos biológicos precisamente é o fato de ele ter chegado a essa estrutura de pensamento seguindo o caminho da modelagem. Logo, toda a estrutura cognitiva por trás das representações produzidas/expressas que culminam nesse texto, se observadas conjuntamente, ilustram as complexas relações que foram construídas pelo aluno. Seria essa, na minha visão, uma das maiores contribuições da metodologia para o processo de ensino e aprendizagem. Mais do que o

		simples acesso às informações, seria a forma como elas são analisadas, relacionadas, utilizadas e generalizadas, que contribuiria para o desenvolvimento dos estudantes. Portanto, acredito que para esse texto o quarto nível da D2 seria plausível, à medida que o aluno avaliou modelos concorrentes, os próprios e os dos colegas, para considerar a combinação de aspectos de modelos que podem melhorar a explicação e o poder preditivo, o que culminou nesse completo texto.
Pergunta 4 – Por que é importante revisar e trabalhar modelos científicos? Como isso se aplica ao seu modelo atual de síntese proteica?		
"É importante realizar trabalhos e modelos científicos, pois podem servir como base para outras produções acadêmicas e para o desenvolvimento da ciência. Tudo isso contribui para a criação de novas invenções. (A5E4P2Q4)"	D2.4	Essa unidade de análise é praticamente integral do quarto nível da D2 de nosso trabalho, produzida a partir de Schwarz *et al.* (2009). Ao dizer que os modelos servem como base para outras produções, o aluno enxerga a relação dos modelos como suporte para o processo de pesquisa e como apoio do pensamento na criação de teorias e liga isso ao desenvolvimento da Ciência. Isso ilustra o quanto de progresso foi realizado quando esse estudante se desloca de uma concepção de modelos como restritos à reprodução da realidade, como cópias dessa, para o campo dos modelos como artefatos epistêmicos. A segunda parte dessa unidade evidencia que sua visão, agora, é de que os modelos são considerados para desenvolverem novos conhecimentos. Portanto, quarto nível da D2.

Fonte: a pesquisa.

3.1.F. Atividade 6 – Refletindo sobre modelos

A sexta atividade contou com a participação dos Estudante 1, 3 e 4. Ela compreendeu oito perguntas especificamente projetadas para análise do processo e dos modelos construídos. O quadro a seguir evidencia as dimensões e seus níveis expressos nas respostas às perguntas.

Quadro 25 – Expressão por aluno das dimensões e seus níveis na Atividade 6

Estudantes	Questões							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	D1.3	D2.3	D1.2	D2.2	D1.3	D1.3	D2.3	D1.3
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	D1.2	D2.3	D1.3	D2.3	D1.3	D1.3	D1.2	D1.3
4	D1.2	D2.2	D1.4	D2.3	D1.2	D1.3	D1.2	D1.4

Fonte: a pesquisa.

Percebe-se que a Dimensão 1 foi a mais expressa, com dezessete ocorrências, das quais o terceiro nível foi o mais frequente, seguido do nível dois, e uma expressão do nível quatro, o nível mais alto expresso para a dimensão na atividade. Já a Dimensão 2 foi expressa sete vezes, das quais cinco correspondem ao nível três, o mais frequente e o máximo nível expresso na atividade, e duas correspondendo ao nível dois, o menos frequente.

O que se pôde observar repetidas vezes nas respostas às perguntas da Atividade 6 é que os estudantes percebem os modelos como sendo melhores quanto mais informações apresentam. Se considerarmos que há fenômenos complexos, há também que pensarmos que há modelos que exibiriam elevado grau de elaboração em sua estrutura/arquitetura e funcionamento. Legendas, desenhos, nomenclaturas, cores, citados como partes importantes dos modelos pelos estudantes, contribuiriam para sua função de explicar os fenômenos. Há, no entanto, que se destacar que o excesso de informações poderia estar ligado a uma busca pela representação total/literal do fenômeno, o que se aproximaria da visão de modelos como cópias/reprodução de realidade. As passagens a seguir evidenciam esse cenário.

Quadro 26 – Respostas à Pergunta 1, Parte I, Atividade 6

Pergunta 1 – Quais as principais características do modelo de síntese proteica criado e modificado por você ao longo dos encontros?
“As principais características do meu modelo são desenhos claros e eficientes, legendas explicativas e nomenclatura Facilitada a fim de facilitar o entendimento alheio sobre meu modelo (A6E1Q1A). Utilizei também setas e observações para facilitar o processo de ordem se tornar mais perceptível a quem não entende sobre Também fiz permanece nesse fator em específico a fim de realizar de forma Clara. (A6E1Q1B)”
“Eu representei de forma detalhada as etapas da síntese proteica desde o núcleo até a enzima (proteína). (A6E3Q1A) As características são: desenhos, legendas, setas e ideias. (A6E3Q1B) Outros modelos que eu representei ao longo das aulas também incluíam setas, desenhos, legendas e ideias, mas o modelo de síntese proteica foi definitivamente o mais completo e detalhado. (A6E3Q1C)”
“Primeiramente, (ilegível) Fazer algo simples, destacando somente as partes Bom, principais, deixando de lado certos processos. (A6E4Q1A) Fiz algo superficial falando sobre os processos, tradução, transcrição e replicação do DNA sem uso de enzimas, Mas muito intrincado, com uma defasagem de informações. (A6E4Q1B) Segundamente coloquei algo mais fundamentado dentro do processo estrutural e de mutação. (A6E4Q1C) No terceiro, tentei aprofundar. Entretanto, por não recordar-me Do primeiro. Também fiz com enfoque no processo estrutural e de mutação. (A6E4Q1D)”

Fonte: a pesquisa.

Em A6E1Q1A o estudante indica que a principal característica de seu modelo são as estruturas visuais que ele classifica como “claras e eficientes”, ao que se soma presença de legendas e por ter escolhido nomes que facilitassem o entendimento sobre o modelo. Isso indica sua preocupação com a consideração epistêmica “público”. Ele destaca ainda, demonstrando novamente preocupação com o público, que “setas e observações” estabeleceriam um ordenamento de eventos que contribuiriam para a construção da percepção do observador a respeito dos processos ilustrados. Contudo, esse texto também se aproxima da ideia de que o modelo, para ser bom ou eficiente, precisa ter muitos elementos, grande detalhamento, para atingir seus objetivos. A unidade foi categorizada na Dimensão 1 – modelos para explicar e prever, no terceiro nível porque, apesar de se perceber a ideia de detalhamento e

necessidade de mais informações, minha interpretação é a de que o estudante está buscando utilizar o modelo como ferramenta para apoiar seu pensamento e para explicar o fenômeno.

Em A6E3Q1A o aluno ressalta os mesmos pontos que o Estudante 4 a respeito do nível de detalhamento que seu modelo exibe, e destaca em A6E3Q1B o uso de desenhos, legendas, setas, mas fala também de ideias, o que sugere seu afastamento de uma visão mais mecanicista. Em A6E3Q1C, no entanto, o estudante retoma a ideia de “modelo completo” associada aos seus recursos representacionais. Essa última unidade de análise poderia, inicialmente, ser percebida como sendo da Dimensão 2, mas, uma visão cautelosa indica que o aluno se restringe à ideia de representação e não é perceptível algo relacionado à mudança que o modelo teria sofrido. As três unidades estão associadas ao nível dois da D2 porque eles vêem o modelo como um meio de explicar o fenômeno e comunicar sua compreensão sobre ele.

A6E4Q1A está associada a ideia de algo simples, destacando que apenas as partes principais são relevantes, deixando alguns processos de lado. Em A6E4Q1B o aluno diz que seu modelo carece de informações, que ele teria feito algo superficial, destacou ainda que o modelo foi intrincado. Em A6E4Q1C ele diz que colocou algo mais fundamentado dentro do processo de mutação. Em A6E4Q1D ele diz que buscou fazer algo mais aprofundado, mas não se lembrava bem de seu modelo anterior, e focou na mutação. Da mesma forma que para as unidades de análise do Estudante 3, é possível, inicialmente, tender-se a categorizar A6E4Q1C na Dimensão 2, mas, observando-se atentamente seu texto, não há mudança, apenas uma descrição da explicação em si, quando ele diz que “colocou algo mais fundamentado”. Em A6E4Q1D também há um indício fraco de mudança, quando o aluno diz que “tentou aprofundar”. Mas, ele de fato não descreve a mudança, não explica o que é e como teria ocorrido. Portanto, categorizamos na Dimensão 1 em seu segundo nível, porque entendemos que o aluno percebe o modelo como um meio de comunicar sua compreensão sobre o fenômeno.

Para a segunda pergunta da Parte I da atividade, ainda se percebe a manifestação da ideia de modelo precisando ter detalhes, a partir da unidade de A6E1Q2a. O estudante vê que acréscimo de informações de caráter descritivo é algo importante para que o modelo melhore. Ao dizer que as enzimas poderiam ser mais bem aprofundadas e associando isso ao uso de cores para que fiquem mais chamativas, ele demonstra pensar na importância e no destaque que essas informações teriam para a explicação do fenômeno estudado, enxergando que seu

acréscimo melhoraria a compreensão do modelo pelo público. Isso surge a classificação da unidade na D1, pela ideia de explicação. Mas, aqui ele está claramente abordando/simulado a mudança, percebendo o modelo como algo que pode ser modificado. Por isso, D2. O nível seria o segundo, por se tratar de uma comparação de modelos com sugestão de modificações, o que se estende também para A6E1Q2B.

A6E3Q2A e A6E3Q2B evidenciam o estudante refletindo sobre seu modelo, indicando sua percepção de que o produto de conhecimento estaria confuso, mas não complexo. Essa revisão é feita com base nos pares, seus colegas. Essas duas unidades foram categorizadas no segundo nível da Dimensão 2 (modelos como entidades mutáveis). A6E4Q2 também indica a ocorrência da revisão por pares destacando a consideração epistêmica público, definido como um 'público que não possui tantas informações e conhecimentos sobre o assunto'. Essa unidade foi categorizada no segundo nível da Dimensão 2 (modelos como entidades mutáveis), visto que a revisão foi feita por pares, que seriam "autoridades"/colegas, e não aprofundou as mudanças que seriam assim realizadas para melhorar seu poder explicativo.

Quadro 27 – Respostas à Pergunta 2, Parte I, Atividade 6

Pergunta 2 – Quais as limitações seu modelo de síntese proteica apresentou ao ser revisado pelos seus colegas após sua primeira apresentação para eles?
"Meu modelo apresenta limitações nas enzimas que poderiam ser melhores aprofundadas, possivelmente fazer uma variação nas cores e deixar mais chamativas, (A6E1Q2A) aprofundadas na transcrição também, citar também as funções das proteínas seria interessante também." (A6E1Q2B)
"Meus colegas sugeriram que meu modelo estava confuso e muito detalhado, então sua limitação seria a dificuldade de entendimento. (A6E3Q2A) Mas se eu pudesse apontar a limitação, eu diria que estava muito confuso e não complexo. (A6E3Q2B) Para melhorar, eu tentei esboçar melhor o modelo, para melhor entendimento. (A6E3Q2C)"
"Os meus colegas não apresentaram nenhuma contradição ao meu modelo, visto que o foco dele é para um público que ainda não possui um encaminhamento tão aprofundado no tocante ao tema." (A6E4Q2)

Fonte: a pesquisa.

A terceira pergunta da Parte I da Atividade 6 evidencia quais objetivos os estudantes enxergam terem atingido com o modelo. Em A6E1Q3 o estudante indica que teria tido dificuldade em interpretar o projeto, mas que efetuou desenhos adaptados às situações e que teria representado a maior parte daquilo que enxerga como importante para a compreensão do fenômeno estudado, sustentando a categorização dessa unidade no segundo nível da Dimensão 1. Essa unidade não se encaixa na Dimensão 2 por não exibir em seu texto qualquer aspecto semântico relacionado aos modelos como entidades mutáveis.

Em A3E3Q3 o estudante indica que seu modelo teria apresentado boa quantidade de informação, tendo sido bastante completo, ideia que poderia indicar retomada da visão de modelos como cópia da realidade. Isso evidencia a constante oscilação da expressão de modelos proveniente de sua polissemia. Mas, ao final, ele destaca ter compreendido os passos para a criação de um modelo. Essa, certamente, é uma fala importante, que valeria ser retomada com o estudante para que fosse mais bem compreendida. A unidade foi categorizada na Dimensão 1, modelos para explicação, e por destacar o que seria uma fraqueza em seu modelo, corresponderia ao terceiro nível.

A6E4Q3A e A6E4Q3B são densas e trazem uma reflexão importante sobre o trabalho com modelos. Na primeira, o estudante expressa a importância dos modelos para a Ciência e expressa a Dimensão 2 na medida que destaca claramente o aspecto mutável dos modelos diante de seu avanço. Sua expressão indica o nível três porque, ao aprofundar e estudar mais um modelo, a revisão estaria em foco, algo característico do terceiro nível da D2. Já a segunda unidade de análise mostra que o aluno compreende o modelo como suporte do pensamento. Isso indica um deslocamento da visão de modelos como cópia para modelos como artefatos epistêmicos. Sua categorização envolve a Dimensão 1, modelos para explicar e prever, nível três, modelos como ferramentas que apoiam o pensamento.

Quadro 28 – Respostas à Pergunta 3, Parte I, Atividade 6

Pergunta 3 – Descreva quais objetivos você acredita que tenha atingido com o modelo criado por você para explicar a síntese proteica.
“Atingir os objetivos esperados, o ponto de interpretar o projeto com muita dificuldade, efetuar desenhos adaptados às situações, citar grande parte/a parte mais importante do processo. (A6E1Q3)”
“Penso que os objetivos que eu atingi foram: um detalhamento completo do processo

de síntese proteica, mesmo que não tenha sido 100% completo, além de eu ter compreendido os passos para a criação de um modelo.”
“O desenvolvimento científico. Provém de uma vasta gama de projetos e pesquisas que foram discutidos de várias e várias vezes e sempre buscando aprofundá-los e estudá-los. Nesse viés, imagino que a criação desse modelo possa contribuir para esse âmbito, (A6E4Q3A) (ilegível) Somente para o meu desenvolvimento acadêmico e para deixar o meu pensamento mais aflorado, saber construir modelos e pensar por mim mesmo. (A6E4Q3B)”

Fonte: a pesquisa.

A quarta pergunta do roteiro traz importantes pontos. Em A6E1Q4, ao dizer que o modelo foi aproximado, ele indica o caráter mutável dos modelos, portanto, D2, e isso teria ocorrido após as discussões e após a comparação dos dados das duas partes da atividade (a e b), portanto, nível dois. Ele indica ainda a relevância das perguntas andaime na atividade, dizendo que elas ajudaram na construção e aprimoramento do modelo para que esse fosse mais eficiente.

Em A6E3Q4A, A6E3Q4B e A6E3Q4C vemos uma profunda descrição do aluno a respeito de seu processo de modelagem. Na primeira unidade de análise vemos uma descrição do modelo como entidade para explicar, portanto, D1. Seu nível seria o três, por ele considerar alternativas na construção do modelo. Na segunda unidade já se percebe a expressão da Dimensão 2, pelo aluno enxergar as mudanças no modelo, e o nível três por ele revisar o modelo para ajustá-lo e melhor articulá-lo com o fenômeno. A terceira unidade mostra uma camada mais profunda de análise do modelo deixando claro que sua revisão foi direcionada por dados e que ele se constituiu como um modelo mais simples, sem tanas informações e com maior direcionamento, compatível com o terceiro nível da Dimensão 2. Vemos aqui também o deslocamento da visão de modelos como cópias para modelos como artefatos epistêmicos.

O Estudante 4 expressa a Dimensão 2 por deixar claro que seu modelo “evoluía” ao longo das atividades, e seu foco foi nas estruturas, a fim de explicar melhor o fenômeno, por isso terceiro nível, para ambas as unidades de análise.

Quadro 29 – Respostas à Pergunta 4, Parte I, Atividade 6

Pergunta 4 – Descreva as modificações que você realizou no seu modelo de síntese proteica ao longo das atividades. Ou seja, como o modelo evoluiu ao longo das atividades?

“O modelo foi aproximado fortemente durante as atividades após discussões. E facilitação dos modelos, Experimento (a) e (b) responder a perguntas nos auxiliou muito na montagem do modelo e como aprimorá-lo a fim de tornar ele mais eficiente. (A6E1Q4)”
“Na primeira atividade fiz meu modelo muito pouco específico e aberto, sem muito aprofundamento no tema. Meu modelo apresentava todas as etapas, mas sem uma direção ou foco para uma etapa específica do processo de síntese proteica. (A6E3Q4A) No meu 2º modelo não havia todas as etapas do processo de síntese proteica, mas havia muita informação sobre o tema principal, o modelo também parecia com uma tabela. (A6E3Q4B) Esse 2º modelo falava sobre um experimento hipotético a respeito de um fungo (se não me engano). No meu 3º modelo, recebi mais direcionamento sobre um tópico específico. Meu modelo apresentava bem as informações e comparava 2 modelos de um fungo. Esse modelo não possuía tanta informação, mas sim muito direcionamento. (A6E3Q4C)”
“O modelo evoluía de algo simples e superficial com uma quantidade diminuta de conteúdos e processos, destacando somente as partes que julgava como necessárias, como os processos e a sua principal funcionalidade, o que acontece no final deles, como contribuem para os processos referentes ao corpo ao longo dos outros modelos, (A6E4Q4A) tentei aprofundar mais e focar mais nas resultantes, como os processos estruturais e os de desnaturação proteica, que podem alterar as funções desempenhadas pelas proteínas, e falei um pouco mais sobre os aminoácidos, blocos de construção de proteínas. (A6E4Q4B)”

Fonte: a pesquisa.

Todas as unidades de análise provenientes das respostas aos comandos da quinta pergunta da Parte II da Atividade 6 focaram na Dimensão 1, modelos para explicar e prever. Os alunos focaram naquilo que o modelo representava e como representava, com foco nas estruturas e processos do fenômeno. A1E1Q5 foi categorizada no terceiro nível porque ele destaca que o modelo auxiliaria no entendimento do processo, como um apoiador do pensamento. Já A6E3Q5 E A6E4Q5, ao contrário da unidade anterior, focaram apenas na descrição/explicação, portanto, nível dois.

Quadro 30 – Respostas à Pergunta 5, Parte II, Atividade 6

Pergunta 5 – Como o modelo produzido por você explica o processo de produção de uma proteína?
“O modelo explica esse processo através da produção de desenhos, legendas, setas, entre outras coisas. As descrições auxiliam no entendimento dos processos, já que apenas as setas não ajudariam. (A6E1Q5)”
“A partir de desenhos, eu expliquei o processo de síntese proteica que começavam de uma longa fita de DNA, sem seguida ela se abria e o RNAm levava a informação até um ribossomo que encaixavam um RNAt na fita m, criando um grande polímero de aminoácidos que se transformava em uma enzima (A6E3Q5).”
“O modelo explica o processo de produção através de Seus indicativos E suas representações para evidenciar isso. AA replicação do DNA com o DNA presente no núcleo, depois o RNA mensageiro Pega o DNA E gera uma fita e usa como molde utilizando os RNAt Adequados que irão para o ribossomo para serem traduzidos, com isso a proteína é produzida. Acarretando em algumas funções à Transporte hormonal, defesa, estrutura e enzima também aprofundei sobre a desnaturação proteica e sobre a estrutura da proteína, como também sobre o processo de mutação. (A6E4Q5)”

Fonte: a pesquisa.

O foco da Pergunta 6 foi a generalização. As três foram classificadas na Dimensão 1, modelos para explicar e prever, em seu terceiro nível, considerando ser esse o primeiro nível da dimensão em que se expressa a previsão e por compreender que essa se relaciona à generalização. O quadro abaixo evidencia as passagens.

Quadro 31 – Respostas à Pergunta 6, Parte III, Atividade 6

Pergunta 6 – Seu modelo de síntese pode ser aplicado a outros seres vivos? Responda “sim” ou “não” e justifique sua resposta.
“Na maioria dos seres. Acredito que sim, já que não possuo total conhecimento sobre. Mas, como nem todos os seres possuem núcleo, não é total viável. (A6E1Q6)”
“Não sei, não conheço todos os seres vivos para ter 100% de certeza. Mas no meu modelo, a presença de núcleo, como há seres vivos que não tem núcleo, meu modelo não pode ser usado. (A6E3Q6)”
“Não se aplica, visto que não há anticorpos em todos os animais, há Rei, algo que não possui. (A6E4Q6A) Cada um com a sua especificidade. Fiz o meu modelo pensando mais em humanos. (A6E4Q6B) Acredito que todos esses processos muito importantes: Tradução, transcrição e replicação do DNA que geram efeitos:

Hormônios, estrutura, enzima, transporte e defesa sejam mais Voltados para humanos a questão da desnaturação também é diferente em Outros tipos de organismos, alguns possuem resistência, outros são mais. Passíveis de serem prejudicados facilmente por questões como ph e temperatura, por exemplo. (A6E4Q6C)"

Fonte: a pesquisa.

A questão sete da atividade focou nas provas experimentais que sustentariam a relação entre um gene e uma proteína e os três estudantes se referiram ao experimento com o fungo *N. crassa* como sendo o fornecedor das provas experimentais, indicando que a atividade atingiu seu objetivo quando optamos por dividi-la em dois momentos relacionados. A6E1Q7A foi categorizada na Dimensão 2 por expressar o caráter mutável dos modelos pelo estudante descrever as mudanças nos modelos ao longo das atividades. As demais unidades foram categorizadas no segundo nível da Dimensão 1, posto que a explicação dos fenômenos estava condizendo com as provas experimentais percebidas pelos estudantes.

Destacam-se ainda os dois primeiros alunos abordando analogias em suas respostas, retomando a analogia trabalhada na Atividade 3. O Estudante 4 destaca ainda que a atividade permitiu discussão, difusão de ideias e troca de conhecimento. Isso é muito rico e reforça o que apontamos anteriormente: a sequência didática nos permitiu trabalhar o assunto de forma ativa, permitindo a expressão dos estudantes em vários níveis diferentes. A seguir as respostas da Pergunta 7.

Quadro 32 – Respostas à Pergunta 7, Parte IV, Atividade 6

Pergunta 7 - Quais provas experimentais mostraram a você a relação entre um gene e uma proteína?
"as provas experimentais das analogias em que o gene seria. Os livros e a proteína, o resultado do livro. Na atividade passada, utilizamos a criação de um modelo para representar um fungo e como as mutações genéticas afetam cada cepa. O modelo dessa atividade também demonstraram como, se (ilegível) o gene estivesse modificado o suficiente para afetar a estrutura, as proteínas (enzimas) não fariam sua função. (A6E1Q7A)"
"Uma proteína é sintetizada a partir de genes. Um gene contém a receita para a fabricação de uma proteína, e para se fabricar uma proteína é preciso fazer todos os passos vistos na questão 'parte II'. (A6E3Q7A) A atividade feita foi uma atividade sobre um experimento hipotético, essa atividade ligava o gene. Com uma proteína

onde na falta de um gene x, seria impossível de fabricar uma proteína x. (A6E3Q7B)”
“As provas experimentais foram As diversas informações presentes Nas diversas atividades que foram propostas, Conseguimos Discutir, Houve uma difusão de ideias e troca de conhecimento. O gene é a receita e a proteína é o resultado. Resumidamente, utilizando uma analogia de maneira a facilitar a compreensão. (A6E4Q7)”

Fonte: a pesquisa.

A última pergunta da atividade buscava dos estudantes algo complexo: um resumo de seus modelos, ou seja, tudo o que foi construído até agora deveria ser apresentado de forma simples e direta ao público.

Em A6E1Q8 o estudante indica que nomenclaturas em seu modelo poderiam ser utilizadas para a explicação, mas recorre em seguida às analogias, e indica que essas poderiam facilitar a compreensão dos dados presentes no modelo. Aqui duas são as possibilidades: a analogia sendo parte do modelo ou sendo o modelo. A interpretação indica que seja a primeira. Ele ainda diz que o modelo é detalhado, contendo desenhos, que seriam seu diferencial, contribuindo para o entendimento. Portanto o modelo explica e dá suporte ao pensamento, o que corresponde ao nível três da Dimensão 1 (modelos para explicar e prever).

Em A6E3Q8 o estudante presenta uma analogia própria, criada por ele, seria um modelo à parte do seu modelo expresso na atividade. Logo, aqui, de forma espontânea, ele está produzindo modelos para sustentar seu pensamento, algo alinhado à Dimensão 1. Contudo, ele cita também a analogia construída na Atividade 3, e liga as duas dentro da mesma explicação. Não é estabelecida uma profunda relação entre elas, mas pode-se dizer que ele estaria fazendo uso de múltiplos modelos para explicar o fenômeno, categorizando a unidade no quarto nível da Dimensão 1.

Em A6E4Q8A o estudante indica que a busca do aspecto mais simples e claro é fundamental na modelagem, ao que se soma que a representação apenas das partes cruciais do processo colaboraria para a compreensão do fenômeno. Isso mostra sua transição da visão de modelos como cópias para modelos como artefatos epistêmicos. Além disso, sua preocupação com o público evidencia que ele buscaria usar seu modelo para facilitar a explicação e previsões sobre o fenômeno, portanto, D1.2. Em A6E4Q8B, o estudante dá como exemplo a não inclusão de nomes de enzimas no modelo e descreve que optaria pelo uso de uma analogia para explicar o

fenômeno, se remetendo à analogia que avaliou na Atividade 3. Logo, ele continua avaliando o modelo dentro da perspectiva da D1 – explicação e previsão, e ainda no nível 2. A6E4Q8C é o período mais longo dos três e nele o estudante descreve todo o processo, de forma mecanicamente encadeada. O texto indica claramente sua grande preocupação em não deixar informações “de fora” da descrição, indicando que seu modelo mental a respeito do fenômeno da síntese proteica inclui várias partes para que sua explicação sobre o fenômeno possa ocorrer plenamente. Considerando que a unidade de análise se relaciona ainda com a D1, visto que toda a descrição visa sustentar uma explicação (detalhada) do fenômeno, pode-se categorizá-la no nível dois. Há que se destacar que essa terceira unidade de análise é contraditória com as duas primeiras. Isso porque o estudante descreve a busca pela simplicidade no processo de construção e uso de um modelo como algo importante que colaboraria para a compreensão sobre o fenômeno, destacando mais uma vez a oscilação da visão de modelos.

Quadro 33 – Respostas à Pergunta 8, Parte V, Atividade 6

Pergunta 8 – Como você explicaria seu modelo para alguém que não conhece sobre proteínas e seu processo de produção?
“Meu modelo apresenta distinta e aplicável nomenclatura, poderia utilizar também analogias para facilitar o entendimento dos dados demonstrados no modelo. Além disso, o modelo é detalhado e ao ser observado será possível um melhor entendimento, seu diferencial são os desenhos que ajudaram o entendimento. (A6E1Q8)”
“A partir de uma analogia: “a fabricação de uma proteína é como uma fábrica, o gene é o que se carrega a ideia de que vai ser produzida, Bom, o RNA é como uma linha de produção que leva os materiais até o RNAr (na forma de ribossomo), ele é como uma máquina que, Junto do RNAt, Fabrica uma proteína. Ou a analogia: ‘O DNA é como uma estante que possui livros, que seriam os genes. Os livros carregam a receita para fabricação de uma proteína. (A6E3Q8)”
“Eu explicaria de uma maneira simples e clara, buscaria evidenciar vastamente as partes cruciais desse processo, deixando um pouco de lado as partes mais complexas que exigem uma análise profunda do tema. (A6E4Q8A) Exemplo: o nome das enzimas. Isso é algo que eu deixaria um pouco de lado, focaria em falar com analogias à Estante de livros, etc. (A6E4Q8B) Falaria que o DNA fica no núcleo e o RNA possui um papel de pegar essas informações e repassar, mas antes ele deve

fazer a replicação do DNA com os processos semiconservativos, a fim de fazer com que as células tenham a mesma informação genética e não apresentem problemas, depois disso, o RNA vai para o ribossomo, e através dos aminoácidos, fazem um processo de tradução e produzem as proteínas; códons e anticódons auxiliam e as proteínas auxiliam no transporte, nos hormônios, na defesa, nas enzimas e na estrutura. (A6E4Q8C)”

Fonte: a pesquisa.

3.1.G. Refletindo sobre os resultados

Os resultados evidenciaram uma gradual transição dos estudantes de níveis mais básicos para níveis mais elaborados nas duas dimensões da PA, percebendo-se, inclusive, mudança na sua concepção sobre modelos, que se deslocou de simples cópias/representações da realidade para estruturas que apoiam o pensamento e a construção de conhecimento, se aproximando da visão de modelos como artefatos epistêmicos.

Quadro 34 – O total de unidades de análise identificadas e analisadas foi:

Nível/Dimensão	Dimensão 1	Dimensão 2
1	1	0
2	16	2
3	14	20
4	2	5
Total	**33**	**27**

Fonte: a pesquisa.

O total de dimensões identificadas foi sessenta, conforme exposto no Quadro 34, com ambas as dimensões se expressando de forma equivalente ao longo das atividades. Atribuímos esse resultado à arquitetura dos roteiros, que buscou trabalhar tanto a dimensão dos modelos como ferramentas geradoras para explicar e prever (Dimensão 1) quanto modelos como entidades mutáveis (Dimensão 2). Ainda assim, entendemos que, diante da construção de modelos, a D1 seria normalmente mais expressa, enquanto a D2 se destacaria nos momentos em que os modelos são revisados. Portanto, considerando que houve construção de quatro modelos: um na

Atividade 2, o modelo da caixa, um na Atividade 4, o modelo de síntese proteica, e dois modelos na Atividade 5, o protomodelo e o modelo revisado, houve algumas oportunidades para a expressão de ambas as dimensões, o que sustenta a equilibrada expressão de ambas as dimensões.

Avançando na análise geral da pesquisa, o Quadro 35 mostra a expressão individual das dimensões ao longo das atividades. Percebe-se que Atividade 5 foi a que apresentou maior expressão da D2, o que faz sentido se pensarmos que foi a maior atividade, contando com a construção do protomodelo e sua revisão para o modelo final. Contudo, a Atividade 6 apresentou maior expressão da D1, ainda que fosse uma atividade de reflexão sobre todo o processo. Atribuímos isso à natureza das perguntas, que acabaram avaliando o poder explicativo e preditivo dos modelos, com menos questões analisando o aspecto mutável deles. Ainda assim, a Atividade 6 é a segunda atividade que mais expressa a D2 depois da Atividade 5. Nesse mesmo viés, a Atividade 2 apresenta certo equilíbrio entre a expressão da D1 e D2, com maior destaque para a primeira. A Atividade 4 não contou com expressão da D2, visto que seu roteiro focou na construção do modelo e não em sua revisão, o que não abriu espaço para o aspecto mutável dos modelos.

Quadro 35 – Expressão individual das dimensões ao longo das atividades

Atividade	E1	E2	E3	E4	Total	Dimensão
2	3	2	2	2	**9**	**D1**
	1	0	3	1	**5**	**D2**
4	1	1	1	1	**4**	**D1**
	0	0	0	0	0	**D2**
5	1	-	1	1	**3**	**D1**
	5	-	5	5	**15**	**D2**
6	5	-	6	6	**17**	**D1**
	3	-	2	2	**7**	**D2**
Total	**19**	**3**	**20**	**18**	**60**	**Total**

Fonte: a pesquisa.

Detalhando mais nossa análise, podemos destacar os níveis de cada dimensão expressos individualmente pelos estudantes ao longo das atividades da sequência didática que compôs o estudo, o que pode ser visto pelos dados do quadro a seguir. Ele constitui uma espécie de “fotografia” da pesquisa.

Quadro 36 – Expressão individual total das dimensões e níveis nas atividades

Atividade/Estudante	E1	E2	E3	E4	Total	Dimensão/Nível
2	0	1	0	0	**1**	D1.1
	3	1	2	2	**8**	D1.2
	0	0	0	0	0	D1.3
	0	0	0	0	0	D1.4
	0	0	0	0	0	**D2.1**
	0	0	0	0	0	**D2.2**
	1	0	1	1	**3**	**D2.3**
	0	0	2	0	**2**	**D2.4**
4	0	0	0	0	0	D1.1
	0	0	0	0	0	D1.2
	1	1	1	1	**4**	D1.3
	0	0	0	0	0	D1.4
	0	0	0	0	0	**D2**
5	0	-	0	0	0	D1.1
	1	-	0	1	**2**	D1.2
	0	-	0	0	0	D1.3
	0	-	1	0	**1**	D1.4
	0	-	0	0	0	**D2.1**
	0	-	0	0	0	**D2.2**
	5	-	4	3	**12**	**D2.3**
	0	-	1	2	**3**	**D2.4**
6	0	-	0	0	0	D1.1
	1	-	2	3	**6**	D1.2
	4	-	4	1	**9**	D1.3
	0	-	0	2	**2**	D1.4
	0	-	0	0	0	**D2.1**
	1	-	0	1	**2**	**D2.2**
	2	-	2	1	**5**	**D2.3**
	0	-	0	0	0	**D2.4**
Total	**19**	**3**	**20**	**18**	**60**	**Total**

Fonte: a pesquisa.

Observa-se que os Estudantes 1, 3 e 4, que estiveram presentes em todas as atividades, apresentam números equivalentes de expressão das dimensões. As variações podem ser explicadas por que, em alguns momentos, optamos por dividir uma frase em mais de uma unidade de análise diante dos significados identificados. O Estudante 3, participou de apenas metade dos encontros. Esse, no entanto, foi o grupo com menos faltas e maior engajamento na proposta, principalmente no preenchimento dos roteiros e nas discussões coletivas realizadas em sala de aula, sendo esses alguns dos motivos da sua seleção para o estudo.

Percebe-se também que para a Atividade 2 o nível dois da Dimensão 1 foi o mais frequente, também constituindo o máximo nível expresso para a atividade. Houve três expressões do nível três e duas expressões do nível quatro da Dimensão 2 nessa atividade, o que não era esperado, considerando ser a primeira atividade de modelagem do grupo. Ao mesmo tempo, esse resultado evidencia que a escolha do público participante da pesquisa foi feliz por sua maturidade e engajamento na proposta.

Para a Atividade 4 não se observou expressão da Dimensão 2 e o nível mais frequente, também máximo, expresso na atividade foi o terceiro da Dimensão 1. Isso se justifica por que nessa atividade os modelos constituíram as unidades de análise. Além disso, a expressão do terceiro nível da Dimensão 1 mostra que os estudantes conseguiram construir produtos de conhecimento que sustentaram seu pensamento e explicarão os fenômenos, e que as diferentes vantagens e fraquezas de sua arquitetura foram levadas em conta para sua elaboração. Percebe-se ainda que a expressão do quarto nível da Dimensão 1 não ocorreu porque os modelos produzidos não chegaram a contemplar a interação entre múltiplos modelos, e sua construção não envolveu geração de novas questões, apenas a explicação do fenômeno estudado, sem generalização.

Na Atividade 5, observa-se a expressão da Dimensão 1, com o nível dois sendo o mais frequente e o quatro nível o máximo expresso para a atividade. Isso se relaciona à construção do protomodelo. Já se considerando a revisão do protomodelo e sua construção “de novo”, percebe-se a massiva expressão da Dimensão 2, com seu terceiro nível intensamente expresso, com doze ocorrências, contra três do nível quatro. Isso evidencia que os estudantes conseguiram revisar seus modelos ajustando-os às evidências que foram fornecidas no segundo momento da Atividade 5, articulando mudanças em suas representações para melhorar o poder explicativo de seus produtos de conhecimento. Pode-se dizer que as atividades escalaram em

termos de complexidade e essa foi a atividade mais longa, trabalhosa e difícil de todas.

A sexta e última atividade exibiu como expressão mais frequente o terceiro nível da Dimensão 1, tendo o quatro sido o maior nível expresso. Isso indica que, durante a análise dos modelos produzidos, os estudantes focaram em seu poder explicativo, e deixaram evidente sua percepção dos modelos como ferramentas apoiadoras de seu pensamento. Isso ratifica a progressão dos estudantes pelos níveis da Dimensão 1, indicando a mudança de sua percepção de modelos como simples cópias ou reproduções da realidade e sua aproximação de modelos como artefatos epistêmicos.

Outro ponto que vale a pena ser destacado é que o número de expressão da Dimensão 2 sustenta um importante resultado: os estudantes desse grupo, hoje, não vêem mais os modelos como peças fixas, certos ou errados, absolutos, mas sim como entidades que servem ao propósito da pesquisa e ao desenvolvimento do conhecimento, como ferramentas explicativas associadas aos dados e evidências, mas parcialmente independentes deles, alicerces para ideias, não somente para explicações mecanicistas.

4. Conclusões e considerações finais

Inicialmente, destaca-se o fato de professores e estudantes viverem presos à transmissão linear de informações encadeadas, num cenário que valoriza muito a memorização e pouco a criatividade no processo de ensino e aprendizagem (FRANCO, 2024; KRASICLCHICK, 2011). Diante disso, foi um grande desafio para o professor-pesquisador criar as atividades propostas para o estudo, tendo a qualificação do projeto de pesquisa sido um dos momentos mais importantes do processo.

Na qualificação do projeto de pesquisa, aspectos basilares do EFM foram apontados pela banca e produziram significativas mudanças na estrutura das atividades propostas para a pesquisa. O grande deslocamento residiu em alterações que tornaram o processo mais ativo por parte dos estudantes. Inicialmente se tratava de uma proposta de atividades com modelos, que apenas tangenciava os vértices do tetraedro do EFM, constituindo um conjunto de atividades ilustrativas sobre o tema estudado. Portanto, a produção de atividades de EFM fiéis à metodologia exige mudança de perspectiva por parte do(a) docente. Essa foi uma das maiores contribuições do estudo para o professor-pesquisador, que hoje passa por um longo processo de revisão de toda a sua didática, mesmo para as atividades que não sejam construídas com base no EFM.

Nessa perspectiva, destaca-se que há a possibilidade de elementos do EFM serem incorporados às aulas regulares, mesmo que não estejamos realizando uma sequência didática completamente baseada na metodologia. Fazer os alunos pensarem, partindo de situações motivadoras, que exijam investigação, criação e organização coletiva, é um dos grandes diferenciais da proposta. Essa mudança de perspectiva sustenta, agora, questionamentos importantes, tais como: "*como abordar o tema a ser lecionado de forma mais ativa com as turmas? Como contribuir para sua criatividade e expressão?*". Essas perguntas têm influenciado todo o planejamento pedagógico do ano de 2025, o que gerou grande modificação tanto na dinâmica das aulas teóricas quanto das aulas de laboratório. As primeiras, hoje, fazem uso de propostas que, ainda que no papel e na caneta, conduzem os estudantes por uma caminhada de questionamentos, de pesquisa, e de criação (SILVA *et al.* 2010). No laboratório, a mudança também foi sentida, de modo que estamos nos afastando de

atividades meramente ilustrativas de fenômenos naturais e conceitos científicos e nos aproximando do processo de criação de explicações acerca da realidade que nos cerca, alinhados a Silva *et al.* (2010), incluindo sempre que possível generalização e previsão.

Assim como os professores têm dificuldades de modificar a dinâmica das aulas promovendo situações que deixem os alunos em uma posição de criatividade plena, esses também demonstraram grande dificuldade em seguir por tal caminho. Falas como "... *mas, o que exatamente eu tenho que fazer aqui?*", "... *o que eu devo responder?*", "... *não estou entendendo. Como assim, eu devo criar algo*?", "... *é muito mais simples se você me responder logo a minha dúvida.*", demonstram como é familiar para os educandos a posição passiva dentro do processo de ensino e aprendizagem. Fica muito clara a posição do professor como responsável por fornecer os conceitos e ideias prontos e acabados e do aluno como sendo a esponja que deve receber tais ideias e absorvê-las (KRASILCHICK, 2011). Logo, as atividades geraram desconforto nos educandos, produziram instabilidade na normalidade da turma e foi possível notar uma mudança de posicionamento neles durante suas etapas, principalmente no que se refere à criação, ainda que isso tenha acontecido com grande dificuldade pelos numerosos anos de passividade no processo de ensino e aprendizagem.

Também foi relevante observar a dinâmica de interação dos estudantes em seus grupos de trabalho durante as atividades. Apesar desse estudo não buscar avaliar o desenvolvimento das habilidades argumentativas, as discussões realizadas pelos estudantes durante as atividades contribuíram para o desenvolvimento de sua oralidade e argumentação, constituindo grande exemplo da expressão do tetraedro do EFM. Contudo, além do desenvolvimento das habilidades argumentativas e sociais oriundas do trabalho em grupo, foi possível perceber como os demais vértices do tetraedro eram expressos em vários momentos e sem uma ordem especificamente predefinida, exatamente como indicado em Gilbert e Justi (2016). Isso demonstra que a criação, teste, avaliação e expressão eram observadas em vários momentos de fala dos estudantes.

Outro ponto fundamental é que o EFM não é uma panaceia. O grupo de pesquisa do qual o professor-pesquisador faz parte abordou muitas vezes essa questão, que brotou das leituras e análises dos textos e contaminou seus corações, muito animados com a metodologia. Dessa forma, o EFM se mostra uma proposta muito válida, com muitos potenciais para o Ensino de Ciências, mas que exige alguns

importantes pontos para ser realizado com sucesso. O primeiro é que qualquer atividade de EFM precisa de um tempo de realização que não é curto. É importante que os alunos tenham a oportunidade de produzirem, avaliarem e reavaliarem o que criaram, exatamente como é feito em Ciência aplicada. Logo, não é possível a realização de uma atividade de EFM em algo como dois tempos de aula seguidos. Não há, nesse recorte temporal, espaço necessário para que todas as etapas da metodologia se concretizem plenamente. Os alunos precisam de tempo para elaborar, revisar e reconstruir suas ideias, modelos e teorias. E para além da sua realização, a preparação das atividades exige bastante planejamento por parte do(a) docente, o que numa profissão sobrecarregada, cheia de burocracias da modernidade, constitui grande desafio.

É fundamental também destacar que no início dessa jornada o próprio professor-pesquisador não tinha uma visão madura do conceito de modelos, se restringindo à de ideia de modelo como representação da realidade e não de modelos como artefatos epistêmicos, intimamente ligados ao fazer científico e à própria estrutura do pensamento humano. Logo, destaca-se como algo frutífero que professores de Ciências e Biologia se apropriem adequadamente das discussões que envolvem modelos por sua relevância para a compreensão da Ciência e pelo potencial de transformação didática, constituindo expressiva contribuição para a educação científica. Esse trabalho representa uma gota no oceano do fecundo campo dos modelos e do EFM (desenvolver mais) e ilustra alguns passos nesse caminho.

Nesse cenário, uma reflexão importante é: se a BNCC determina a necessidade do desenvolvimento de habilidades e competências por parte dos estudantes, como alguém desenvolve uma habilidade? A resposta é: fazendo. Se alguém deseja aprender uma atividade, como dança ou esportes, e for aos livros, terá uma visão teórica apenas. É a prática, o fazer, o expressar, que garantirá o conjunto de estímulos e processos neurológicos necessários à construção de uma nova habilidade. O EFM oferece isso, garante que o aluno faça, que pense, que proponha, que erre, revise, altere, se comunique, se mostrando uma grande metodologia e poderosa estratégia cujos potenciais precisam ser ainda mais estudados.

Esta pesquisa buscou avaliar como ocorreu a Progressão de Aprendizagem em um grupo de estudantes de uma turma do 1º ano do Ensino Médio durante o desenvolvimento de uma proposta de Ensino Fundamentado em Modelagem sobre síntese proteica. A partir da construção e realização dessa sequência didática, que contemplou a criação, expressão, teste e avaliação de modelos, pudemos observar os

estudantes caminhando dos níveis mais básicos da progressão para níveis mais elaborados à medida que as atividades eram desenvolvidas, consonante ao que identificamos em Gilbert e Justi (2016), Berland *et al.* (2015) e Schwarz *et al.* (2009). Não esperávamos expressão tão numerosa de níveis mais elevados da progressão, acima do nível dois para ambas as dimensões. Uma possível explicação seria o fato de o colégio ter tradição de trabalhar com projetos de pesquisa, tendo um corpo de estudantes mais crítico e engajado. Então, a presente pesquisa observou a expressão de níveis mais básicos para níveis elaborados de ambas as Dimensões propostas por Schwarz *et al.* (2009), a saber: modelos como ferramentas geradoras para explicar e prever (Dimensão 1) e modelos como entidades mutáveis (Dimensão 2).

Para o Ensino de Biologia, especificamente para o ensino de Bioquímica, síntese proteica, o estudo apresenta ser possível o uso de uma abordagem ativa, que permitiu o trabalho de conteúdos complexos, submicroscópicos, de forma alinhada à uma Educação Científica autêntica(GILBERT; JUSTI, 2016), que colabore para o desenvolvimento de senso crítico e para a atuação frente a desafios atuais dentro da perspectiva CTS.

Para o campo do trabalho com modelos e do Ensino Fundamentado em Modelagem, a presente pesquisa faz uso de uma abordagem um pouco diferente na medida em que focou no desenvolvimento individual dos estudantes, enquanto outros trabalhos na área focam na análise coletiva das produções, como Schwarz *et al.* (2009), Berland *et al.* (2016), entre outros.

Através de uma análise crítica da pesquisa realizada, percebe-se que maior tempo para a elaboração e revisão das atividades, bem como maior tempo para sua aplicação e discussão com as turmas, seria algo positivo. Isso também poderia proporcionar mais encontros voltados à construção e revisão de modelos pelos estudantes.

Como perspectivas de trabalhos futuros em um campo repleto de potencial, destacamos a ideia de estudos de longo prazo. Acompanhamentos que envolvessem mais de um ano de dados, observando alunos ou professores por diferentes perspectivas do campo, seria algo interessante. Algumas perguntas se destacam no fechamento dessa pesquisa: como se daria o desenvolvimento da percepção dos estudantes sobre o campo dos modelos e da modelagem com a vivência pedagógica de um currículo que possua a presença real dos modelos e da modelagem em sua extensão por anos seguidos? Qual a trajetória de desenvolvimento mais adequada para os professores de Ciências no que se refere à familiarização com o campo?

Quais os impactos, no longo prazo, na atuação de professores de Ciências que passaram a fazer uso consciente dos modelos e da modelagem em seus currículos? Como as habilidades argumentativas se desenvolvem no longo prazo com o uso do EFM? Quais as percepções dos estudantes submetidos a um currículo que seja construído com base nos modelos e no EFM acerca de sua jornada de desenvolvimento analítico?

Referências

ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; MORGAN, D.; RAFF, M. **Biologia molecular da célula**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

ANDRADE, M. A. B. S.; CALDEIRA, A. M. A. **O modelo de DNA e a biologia molecular: inserção histórica para o ensino de biologia**. Filosofia e História da Biologia, v. 4, p. 139–165, 2009.

BARRETO, U. R. **Modelos em química: ensino, pesquisa e linguagem**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2020.

BERG, J. M.; TYMOCZKO, J. L.; GATTO, G. J.; STRYER, L. **Bioquímica**. 8. ed. Rio de Janeiro: GEN Guanabara Koogan, 2021.

BERLAND, L. K; SCHWARZ, C. V.; KRIST, C.; KENYON, A. S. Lo; REISER, B. J. Epistemologies in Practice: Making Scientific Practices Meaningful for Students. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 53, n. 7, p. 1082–1112, set. 2016. DOI: https://doi.org/10.1002/tea.21257.
Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tea.21257. Acesso em: 05 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018.
Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em: 1 jul. 2024.

BUCKLEY, C. B. **Interactive multimedia and model-based learning in biology**. International Journal of Science Education, v. 22, n. 9, p. 895–935, set. 2000. DOI: https://doi.org/10.1080/095006900416848.
Disponível em: https://eric.ed.gov/?id=EJ613706. Acesso em: 05 jun. 2025.

BUNGE, M. **Teoria e realidade**. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 2017.

COHEN, E. G.; LOTAN, R. A.; CARNEIRO, J. R. L. M. M. **Planejando o trabalho em grupo: estratégias para salas de aula heterogêneas**. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2017.

DURAND, A. M.; GARCIA, I. K. **Pesquisa bibliográfica: as reações de oxirredução de acordo com os modelos mentais**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 25, n. 3, p. 108–132, dez. 2020.
DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n3p108.
Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/1857. Acesso em: 05 jun. 2025.

DUSCHL, R. A. **Inquiry-based science education: balancing openness and structure**. In: DUSCHL, R. A.; GRANDY, R. E. (org.). Teaching scientific inquiry: recommendations for research and implementation. Rotterdam: Brill, 2008. p. 304–325.
DOI: https://doi.org/10.1163/9789087902728_016.
Disponível em: https://brill.com/display/title/37621. Acesso em: 05 jun. 2025.

FERNANDES, B. G.; LOCATELLI, S. W. **Acesso e transição nos níveis representacionais durante a construção de modelos explicativos acerca de interações intermoleculares**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 21, p. 225–253, mar. 2021.
DOI: https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2021u225253.
Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/20017. Acesso em: 05 jun. 2025.

FERNANDES, B. L. P.; CEZAR-DE-MELLO, P. F. T.; SOUSA, F. B.; SANTOS, A. C.; COUTINHO, T. J. D. **Compreensões de estudantes do ensino médio sobre modelos em biologia**. Revista de Ensino de Bioquímica, v. 20, n. 2, p. 179–191, 2022.
DOI: https://doi.org/10.16923/reb.v20i2.1050.
Disponível em: https://www.bioquimica.org.br/index.php/REB/article/view/1050. Acesso em: 05 jun. 2025.

FERREIRA, M.; DEL PINO, J. C. **Experimentação e modelagem: estratégias para a abordagem de ligações químicas no ensino médio**. Acta Scientiae, v. 5, n. 2, p. 41–48, jul./dez. 2003.
Disponível em: http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/135. Acesso em: 05 jun. 2025.

FRANCO, L. G. (org.). **Ensinando Biologia por investigação II: propostas para inovar a ciência na escola**. São Paulo: Na Raiz, 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GILBERT, J. K. **Models and modelling: routes to more authentic science education**. International Journal of Science and Mathematics Education, v. 2, p. 115–130, jun. 2004.
DOI: https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4.
Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10763-004-3186-4. Acesso em: 05 jun. 2025.

GILBERT, J. K.; JUSTI, R. **Modelling-based teaching in science education**. Dordrecht: Springer, 2016.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3.
Disponível em: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-29039-3. Acesso em: 05 jun. 2025.

HARRISON, A. G.; TREAGUST, D. F. **A typology of school science models**. International Journal of Science Education, v. 22, n. 9, p. 1011–1026, set. 2000.
DOI: https://doi.org/10.1080/095006900416884.
Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/095006900416884. Acesso em: 05 jun. 2025.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **Dificuldades e avanços no domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica: um estudo de caso em uma disciplina de física experimental**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 23, n. 2, p. 352–382, ago. 2018.
DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n2p352.
Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/933. Acesso em: 05 jun. 2025.

HENRIQUES, L. R.; KONIG, I. F. M.; DIAS, B. K. de M.; BAGNO, F. F.; SANTOS, R. C. V.; LEITE, J. P. V. **Bioquímica nas escolas: uma estratégia educacional para o estudo de Ciência no Ensino Médio**. Revista ELO – Diálogos em Extensão, v. 5, n. 3, p. 6–17, dez. 2016.
DOI: https://doi.org/10.21284/elo.v5i3.174.

Disponível em: https://periodicos.ufv.br/elo/article/view/1128. Acesso em: 05 jun. 2025.

KNUUTTILA, T. **Epistemic artifacts and the modal dimension of modeling**. European Journal for Philosophy of Science, v. 11, art. 65, jul. 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s13194-021-00374-5. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s13194-021-00374-5. Acesso em: 05 jun. 2025.

KNUUTTILA, T. **Imagination extended and embedded: artifactual and fictional accounts of models**. Synthese, v. 198, supl. 21, p. 5077–5097, set. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11229-017-1545-2. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11229-017-1545-2. Acesso em: 05 jun. 2025.

KNUUTTILA, T. **Models as epistemic artefacts: toward a non-representationalist account of scientific representation**. 2005. Tese (Doutorado em Filosofia) – Universidade de Helsinki, Helsinki.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de biologia**. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2011.

LAGO, L. G.; ORTEGA, J. L. N. A.; MATTOS, C. R. **O modelo genético e o movimento dinâmico entre abstrato e concreto como instrumentos para o planejamento de sequências didáticas para o ensino de ciências**. Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, v. 13, n. 1, p. 123–153, maio 2020. DOI: https://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v13n1p123. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/7884169. Acesso em: 05 jun. 2025.

LAZZARONI, A. A.; TEIXEIRA, G. A. P. B. **Construção e aplicação de um modelo tridimensional como recurso didático para o ensino de síntese proteica**. Revista de Ensino de Bioquímica, v. 15, n. 2, p. 36–48, jul./dez. 2017. DOI: https://doi.org/10.16923/reb.v15i2.742. Disponível em: https://www.bioquimica.org.br/index.php/REB/article/view/742. Acesso em: 05 jun. 2025.

MACEDO, M. S.; PANTOJA, G. C. F.; MOREIRA, M. A. **Modelos atômicos no ensino médio: uma unidade de ensino potencialmente significativa com ênfase em uma descrição epistemológica**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 25, n. 2, p. 235–258, ago. 2020.
DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p235.
Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/1756. Acesso em: 05 jun. 2025.

MACHADO, J.; CRUZ, S. M. S. C. de S. **A construção de modelos no ensino de física: da realidade à conceitualização**. Ciência & Educação, v. 17, n. 4, p. 887–902, 2011.
DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-73132011000400008.
Disponível em: http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1516-73132011000400008&lng=pt. Acesso em: 11 jul. 2025.

MACHADO, J.; BRAGA, M. **A proposta da Redescrição Representacional como referencial para a conceitualização de modelos na educação científica**. Ciência & Educação, v. 25, n. 3, p. 589–606, set. 2019.
DOI: https://doi.org/10.1590/1516-731320190030013.
Disponível em: https://www.scielo.br/j/ciedu/a/rNdqh7WmBzPMfCMC9sCPqHp. Acesso em: 05 jun. 2025.

MACHADO, J.; BRAGA, M. **A conceitualização de modelos em física: aproximações e distanciamentos entre as visões de Mario Bunge e Gérard Vergnaud**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 22, p. 1–27, 2020.
DOI: https://doi.org/10.1590/21172020210109.
Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/ensaio/article/view/10560. Acesso em: 05 jun. 2025.

MACHADO, J.; FERNANDES, B. L. P. **Model conceptions in science education research: features and trends**. Ciência & Educação (Bauru), v. 27, e21014, 2021.
DOI: https://doi.org/10.1590/1516-731320210014.
Disponível em: https://www.redalyc.org/journal/2510/251066798015/movil/. Acesso em: 05 jun. 2025.

MACHADO, M. de S.; RICARDO, J.; SUGAI, J. K.; FIGUEIREDO, M. S. R. B.; ANTÔNIO, R. G.; HEIDRICH, D. N. **Bioquímica através da animação**. Revista de Ensino de Bioquímica, v. 2, n. 1, p. 1–10, 2004.
Disponível em: https://www.bioquimica.org.br/index.php/REB/article/view/53. Acesso em: 05 jun. 2025.

MADEIRA, R. P. **Modelagem no ensino de Ciências e Matemática: uma revisão de periódicos nacionais A1 de 2001 a 2022.** 2024. 216 f. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro.
Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.xhtml?popup=true&id_trabalho=15432639. Acesso em: 05 jun. 2025.

MARTINS, D. M.; MOZZER, N. B.; OLIVEIRA, T. M. A.; CAETANO, M. S. **O papel dos modelos computacionais e das analogias na aprendizagem do processo de interação fármaco-enzima no ensino fundamentado em modelagem**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 20, p. 823–854, 2020.
DOI: https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u823854.
Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/20866. Acesso em: 05 jun. 2025.

MENDONÇA, P. C. C. **'Ligando' as ideias dos alunos à ciência escolar: análise do ensino de ligação iônica por modelagem**. 2008. 216 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/FAEC-84VKF7. Acesso em: 05 jun. 2025.

MIRANDA, A. C. G.; PAZINATO, M. S.; BRAIBANTE, M. E. F. **Transição progressiva dos modelos explicativos de estudantes do nível médio sobre a natureza das forças intermoleculares**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 27, n. 2, p. 1–22, ago. 2022.
DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n2p01.
Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/2576. Acesso em: 05 jun. 2025.

MORAES, R. **Análise de conteúdo**. Educação, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7–32, mar. 1999.

MOREIRA, L. **O sistemismo de Bunge como instrumento metodológico para aprendizagem ativa**. Ciência & Educação (Bauru), v. 26, 2020.
DOI: https://doi.org/10.1590/1516-731320200058.
Disponível em: https://www.scielo.br/j/ciedu/a/9xyqqPymcfvPgDd8RxNRW3p/. Acesso em: 05 jun. 2025.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. da S. **Modelagem analógica no ensino de ciências**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 23, n. 1, p. 155–182, abr. 2018.
DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n1p155.
Disponível em: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n1p155. Acesso em: 05 jun. 2025.

NASCIMENTO, L. M. M.; BOCCHIGLIERI, A. **Modelos didáticos no ensino de Vertebrados para estudantes com deficiência visual**. Ciência & Educação (Bauru), v. 25, n. 2, p. 317–332, abr./jun. 2019.
DOI: https://doi.org/10.1590/1516-731320190020004.
Disponível em: https://www.scielo.br/j/ciedu/a/hKLV6wCbyt96WY5WLGJJwdd/. Acesso em: 05 jun. 2025.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios da bioquímica de Lehninger**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.

PANTOJA, G. C. F. **Conceptual fields and magnetic field: a theoretical model for epistemological classification of tasks in magnetostatics**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 26, n. 3, p. 82–110, dez. 2021.
DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2021v26n3p82.
Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/2509. Acesso em: 05 jun. 2025.

PAZ, A. M.; ABEGG, I.; FILHO, J. de P. A.; DE OLIVEIRA, V. L. B. **Modelos e modelizações no ensino: um estudo da cadeia alimentar**. Ciência & Educação (Bauru), v. 12, n. 2, p. 267–284, 2006.
DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-73132006000200010.
Disponível em: https://www.scielo.br/j/ciedu/a/9KZzYzYJ9vZJvZJvZJvZJvZ/. Acesso

em: 05 jun. 2025.

PESSANHA, M. **Obstáculos cognitivo-epistemológicos e modelos explicativos no estudo sobre a estrutura da matéria nas aulas de física**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 23, n. 2, p. 383–405, ago. 2018.
DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n2p383.
Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/1043. Acesso em: 05 jun. 2025.

PINHEIRO, T. de F. **Aproximação entre a ciência do aluno na sala de aula da 1ª série do 2º grau e a ciência dos cientistas: uma discussão**. 1996. 156 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação, Florianópolis.
Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/76415. Acesso em: 05 jun. 2025.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.
Disponível em: https://archive.org/details/metodologia-do-trabalho-cientifico. Acesso em: 05 jun. 2025.

RAYNER, G. **Modelling ecosystem structure and energy flow in a first year environmental biology practical: not a complete waste of energy**. International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education, v. 20, n. 3, p. 30–37, 2012. Disponível em: https://openjournals.library.sydney.edu.au/CAL/article/view/6443. Acesso em: 05 jun. 2025.

RODRIGUES, A. M.; GIBIN, G. B. **O uso do stop motion na investigação de modelos mentais de alunos do ensino médio sobre conceitos relacionados com a eletrólise**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 27, n. 2, p. 222–242, ago. 2022.
DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n2p222.
Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/2800. Acesso em: 05 jun. 2025.

RODRIGUES, L. Z.; PEREIRA, B.; MOHR, A. **O documento “Proposta para Base Nacional Comum da Formação de Professores da Educação Básica” (BNCFP): dez razões para temer e contestar a BNCFP**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 20, p. 1–39, 2020.
DOI: https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u139.
Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/16205. Acesso em: 05 jun. 2025.

ROLDI, M. M. C.; VIEIRA, L. da S. L.; CAMPOS, C. R. P. **Instrumento didático para o ensino de ciências: simulação de uma síntese proteica**. Revista de Ensino de Bioquímica, v. 22, n. 1, p. 1–15, 2024.
DOI: https://doi.org/10.16923/reb.v22i1.1223.
Disponível em: https://www.bioquimica.org.br/index.php/REB/article/view/1223. Acesso em: 05 jun. 2025.

SADAVA, D.; HELLER, C.; ORIANS, G. H.; PURVES, W. K.; HILLIS, D. M. **Vida: a ciência da biologia: volume 1: célula e hereditariedade**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SAGAN, C. **Cosmos**. Tradução de Paulo Geiger. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

SANTOS, S. C. S. **Uma reflexão sobre o uso de analogias no ensino de ciências e o desdobramento multimodal da realidade: o exemplo de tópicos da teoria da evolução biológica**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 25, n. 2, p. 80–102, ago. 2020.
DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p80.
Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/1631. Acesso em: 05 jun. 2025.

SCHWARZ, C. V. et al. **Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners**. Journal of Research in Science Teaching, v. 46, n. 6, p. 632–654, 2009.
DOI: https://doi.org/10.1002/tea.20311.
Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/tea.20311. Acesso em: 05 jun. 2025.

SILVA, A. C.; DE ALMEIDA, M. J. P. M. **Trechos de Bohr sobre modelos atômicos: indícios sobre como a física é construída e possibilidades enquanto recurso didático**. Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, v. 13, n. 1, p. 277–293, 2020.
Disponível em: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7884175. Acesso em: 05 jun. 2025.

SILVA, M. B. e; SASSERON, L. H. **Alfabetização científica e domínios do conhecimento científico: proposições para uma perspectiva formativa comprometida com a transformação social**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 23, e34674, 2021.
DOI: https://doi.org/10.1590/1983-21172021230129.
Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/ensaio/article/view/34674. Acesso em: 05 jun. 2025.

SILVA, J. J. G. **Ensino fundamentado em modelagem para os conceitos de estados de agregação da matéria: uma análise das habilidades cognitivas e metacognitivas**. 2022. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.
Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/48709. Acesso em: 05 jun. 2025.

SILVA, M. C.; SMANIA-MARQUES, R.; FERREIRA, H. S. **Mobilização de aspectos teóricos e metodológicos do modelo de reconstrução educacional para apoiar o processo de design de uma sequência didática sobre biodiversidade**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 27, n. 1, p. 173–198, abr. 2022.
DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n1p173.
Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/2654. Acesso em: 05 jun. 2025.

SILVA, M. C.; FERREIRA, H. S. **Modelo de reconstrução educacional como um aporte teórico e metodológico para o design de ambientes de ensino e aprendizagem da ciência**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 25, n. 1, p. 262–281, abr. 2020.
DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n1p262.
Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/1584. Acesso em: 05

jun. 2025.

SOLNER, T. B.; FERNANDES, L. da S.; FANTINEL, L. **O ensino de bioquímica: uma investigação com professores da rede pública e privada de ensino**. Revista Thema, v. 17, n. 4, p. 899–911, 2020.
DOI: https://doi.org/10.15536/thema.V17.2020.899-911.1591.
Disponível em: https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/1591.
Acesso em: 05 jun. 2025.

SOUZA, R. G.; DA SILVA, L. C.; DE LIMA, R. V. M.; FERNANDES, D. B. **Modelos e modelagem como ferramenta lúdica para o ensino de ligações químicas no 9º ano**. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 10, n. 2, p. 1–18, 2017. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/educiencia/article/view/12345. Acesso em: 05 jun. 2025.

TREAGUST, D. F.; HARRISON, D. G. **Teaching and learning with analogies**. In: AUBUSSON, P. J.; HARRISON, A. G.; RITCHIE, S. M. (org.). Metaphor and analogy in science education. Dordrecht: Springer, 2006. p. 11–24.
DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-3830-5_2.
Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-3830-5_2. Acesso em: 05 jun. 2025.

Apêndice 1

TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL (TAI)

PESQUISA: CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM À PROGRESSÃO DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE BIOLOGIA PARA O 1º ANO DO ENSINO MÉDIO

Responsável: Frederico Pegoraro Fernandes Pereira

Eu, _____ (nome legível), responsável pela Instituição _____ (nome legível da instituição), declaro que fui informada dos objetivos da pesquisa acima, e concordo em autorizar a execução da mesma nesta instituição. Caso necessário, podemos revogar esta autorização, a qualquer momento, se comprovadas atividades que causem algum prejuízo a esta instituição ou ao sigilo da participação dos integrantes desta instituição. Declaro, ainda, que não recebemos qualquer tipo de remuneração por esta autorização, bem como os participantes também não o receberão. Asseguramos que possuímos a infraestrutura necessária para a realização da pesquisa.

Rio de Janeiro, ____ de _____ de 2024.

_____

Responsável pela Instituição (assinatura e carimbo legível)

Se desejar qualquer informação adicional sobre este estudo, envie uma mensagem: Frederico Pegoraro Fernandes Pereira, frederico.pereira@aluno.cefet-rj.br , +5521988989502.

Apêndice 2

Colégio Franco
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET – RJ)
Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação (PPCTE)
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO (TCLE)

O TCLE a seguir é um texto que explica os detalhes sobre a participação voluntária de seu filho ou filha na pesquisa acadêmica "CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM À PROGRESSÃO DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE BIOLOGIA PARA O 1º ANO DO ENSINO MÉDIO" que será realizada pelo Prof. e Coordenador de Biologia do Colégio Franco, Frederico Pegoraro Fernandes Pereira, junto ao 1º ano do EM de 2024, para sua pesquisa de mestrado junto ao PPCTE do CEFET – RJ.

Por favor, leia atentamente o documento e caso você aceite que seu(a) filho(a) participe do estudo, assine o campo destacado ao final. Toda a concepção e execução do projeto estão sob a responsabilidade do pesquisador Frederico, que pode ser acessado a qualquer momento através do e-mail frederico.pereira@aluno.cefet-rj.br

Este estudo tem por objetivo avaliar a Progressão da Aprendizagem de estudantes do 1º ano do Ensino Médio durante uma atividade de Ensino Fundamentado em Modelagem para o desenvolvimento do conteúdo Bioquímica, tópico Ácidos Nucléicos, subtópico síntese proteica.

A pesquisa não modificou o planejamento anual da disciplina, apenas consiste na organização de coleta de dados que serão obtidos através da participação dos estudantes durante 9 encontros sequenciais projetados para o ensino prático de bioquímica, em que serão construídos modelos científicos pelos estudantes. Durante as atividades, não serão obtidas imagens dos participantes, apenas áudios de suas falas, que serão transcritas, unitarizadas, categorizadas e passarão por análise de conteúdo. Além das falas dos participantes, cada encontro contará com um roteiro que será preenchido individualmente pelos estudantes, e as respostas também passarão por análise de conteúdo. Os modelos construídos pelos estudantes, bem como seu processo de criação (a modelagem), serão registrados por meio de imagens, sem registro de imagens dos indivíduos, com foco apenas nos modelos e no processo de modelagem.

A qualquer momento, o(a) estudante ou sua família poderão sinalizar o desejo de encerrar a participação na pesquisa e suas falas e demais contribuições não serão computadas no estudo. A recusa, desistência, ou retirada de consentimento, não acarretará prejuízo para o(a) estudante,

considerando que a atividade já era prevista para o ano letivo, sendo apenas a coleta de dados a novidade decorrente da pesquisa que será realizada. Portanto, reiteramos que a atividade faz parte do cronograma anual da disciplina Biologia do 1º ano do Ensino Médio, sendo um tipo de atividade que é realizada pelos estudantes desde o Ensino Fundamental: a construção de modelos científicos.

A pesquisa oferece riscos mínimos para os participantes, considerando que o tema a ser trabalhado – bioquímica – é abstrato e relativo ao mundo submicroscópico, e representam apenas o possível desconforto do participante em ter sua voz gravada. Mas, o estudo garantirá sigilo de informações das informações dos participantes.

Como benefícios, esta pesquisa poderá fornecer subsídios para que se compreenda mais profundamente o impacto do uso do Ensino Fundamentado em Modelagem na Progressão da Aprendizagem de estudantes do Ensino Médio.

A participação dos estudantes é voluntária, não remunerada, e não implicará em gastos para eles ou suas famílias. Os dados obtidos por meio desta pesquisa serão confidenciais e não serão divulgados em nível individual, visando assegurar o sigilo da participação de todos. Neste caso, o pesquisador se compromete a tornar públicos, nos meios acadêmicos e científicos, os resultados sem qualquer identificação das pessoas que participaram.

Caso você concorde que seu(a) filho(a) participe desta pesquisa, por favor, assinale a opção abaixo de confirmação de leitura e aceite.

Autorizo o(a) estudante _____ a participar da pesquisa “CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM À PROGRESSÃO DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE BIOLOGIA PARA O 1º ANO DO ENSINO MÉDIO” cujo responsável é o Prof. e Coord. Frederico Pegoraro Fernandes Pereira.

_____

Assinatura do(a) responsável

Rio de Janeiro, _____ de _____ de 2024.

Apêndice 3

Colégio Franco
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET – RJ)
Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação (PPCTE)
TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO (TALE)

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), da pesquisa intitulada CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM À PROGRESSÃO DA APRENDIZAGEM NO ENSINO DE BIOLOGIA PARA O 1º ANO DO ENSINO MÉDIO conduzida por Frederico Pegoraro Fernandes Pereira. Esta pesquisa tem por objetivo identificar as etapas da Progressão da Aprendizagem expressas por estudantes durante a realização de proposta de Ensino Fundamentado em Modelagem para o ensino de bioquímica.

Você foi selecionado(a) por fazer parte público-alvo de estudo da pesquisa (estudantes do 1º ano do Ensino Médio). Sua participação não é obrigatória. A qualquer momento, você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa, desistência ou retirada de consentimento não acarretará prejuízo.

Os riscos de participação nessa pesquisa são mínimos, isto é, representam apenas o seu possível desconforto em ter o áudio de sua voz gravado durante a realização das atividades, que se dará de forma anônima e impessoal.

Sua participação na pesquisa não é remunerada nem implicará em gastos por sua parte.

Sua participação nesta pesquisa consistirá em participar das aulas presencialmente, realizando as atividades propostas. Cada encontro contará com um roteiro a ser preenchido individualmente e cujas respostas serão analisadas junto dos áudios gravados durante a atividade.

Os dados obtidos por meio desta pesquisa serão confidenciais e não serão divulgados em nível individual, visando assegurar o sigilo de sua participação. O pesquisador responsável se compromete a tornar públicos nos meios acadêmicos e científicos os resultados obtidos de forma consolidada sem qualquer identificação dos participantes.

Caso você concorde em participar desta pesquisa, assine este documento, que possui duas vias, sendo uma delas sua, e a outra, do pesquisador responsável pela pesquisa.

Rubrica do participante Rubrica do pesquisador





Certificado de Assentimento

Eu, (seu nome)_____,
entendi que a pesquisa é sobre
_____
_____
_____.
(descrever resumidamente objetivos e procedimentos a serem realizados).

Nome e/ou assinatura da criança/adolescente:_____.

Nome e assinatura dos pais/responsáveis: _____.

Nome e assinatura do responsável por obter o consentimento: _____.

Rio de Janeiro, _____ de _____ de 2024.

Colégio Franco
Disciplina: Biologia
Professores: Fred e Janssen
1º ano EM 2024 – Atividade 1 – "Modelos"

Todos temos uma ideia geral sobre o que seja um modelo. Utilizando essa ideia geral, analise os sistemas que serão apresentados e classifique-os como modelos ou não.

Para isso, preencha os campos abaixo indicados.

Lembre-se: você pode e deve discutir com seus colegas de grupo as informações apresentadas, mas deve escrever suas respostas individualmente no roteiro abaixo.

Sistema 1 - O que você vê? _____

Você considera que isso seja um modelo? ( ) SIM ( ) NÃO

Justificativa:

_____

_____

_____

Sistema 2 - O que você vê? _____

Você considera que isso seja um modelo? ( ) SIM ( ) NÃO

Justificativa:

_____

_____

_____

Sistema 3 - O que você vê? _____

Você considera que isso seja um modelo? ( ) SIM ( ) NÃO

Justificativa:

_____

_____

_____

Sistema 4 - O que você vê? _____

Você considera que isso seja um modelo? ( ) SIM ( ) NÃO

Justificativa:

_____

_____

_____

Sistema 5 - O que você vê? _____

Você considera que isso seja um modelo? ( ) SIM ( ) NÃO

Justificativa:

_____

_____

_____

Sistema 6 - O que você vê? _____

Você considera que isso seja um modelo? ( ) SIM ( ) NÃO

Justificativa:

_____

_____

_____

Sistema 7 - O que você vê? _____

Você considera que isso seja um modelo? ( ) SIM ( ) NÃO

Justificativa:

_____

_____

_____

Sistema 8 - O que você vê? _____

Você considera que isso seja um modelo? ( ) SIM ( ) NÃO

Justificativa:

_____

_____

_____

Sistema 9 - O que você vê? _____

Você considera que isso seja um modelo? ( ) SIM ( ) NÃO

Justificativa:

_____

_____

_____

Sistema 10 - O que você vê? _____

Você considera que isso seja um modelo? ( ) SIM ( ) NÃO

Justificativa:

_____

_____

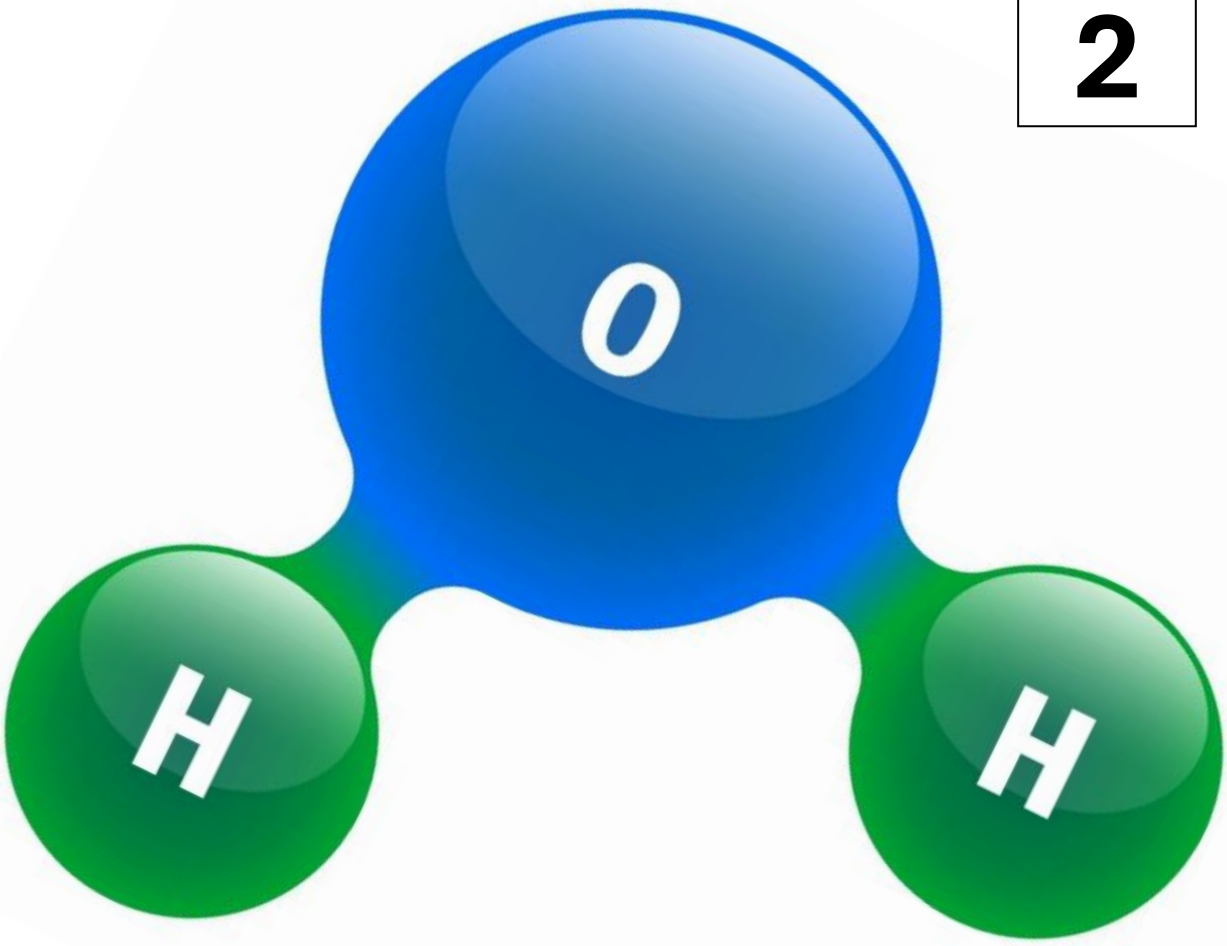
_____

Até a próxima! =)

1



2

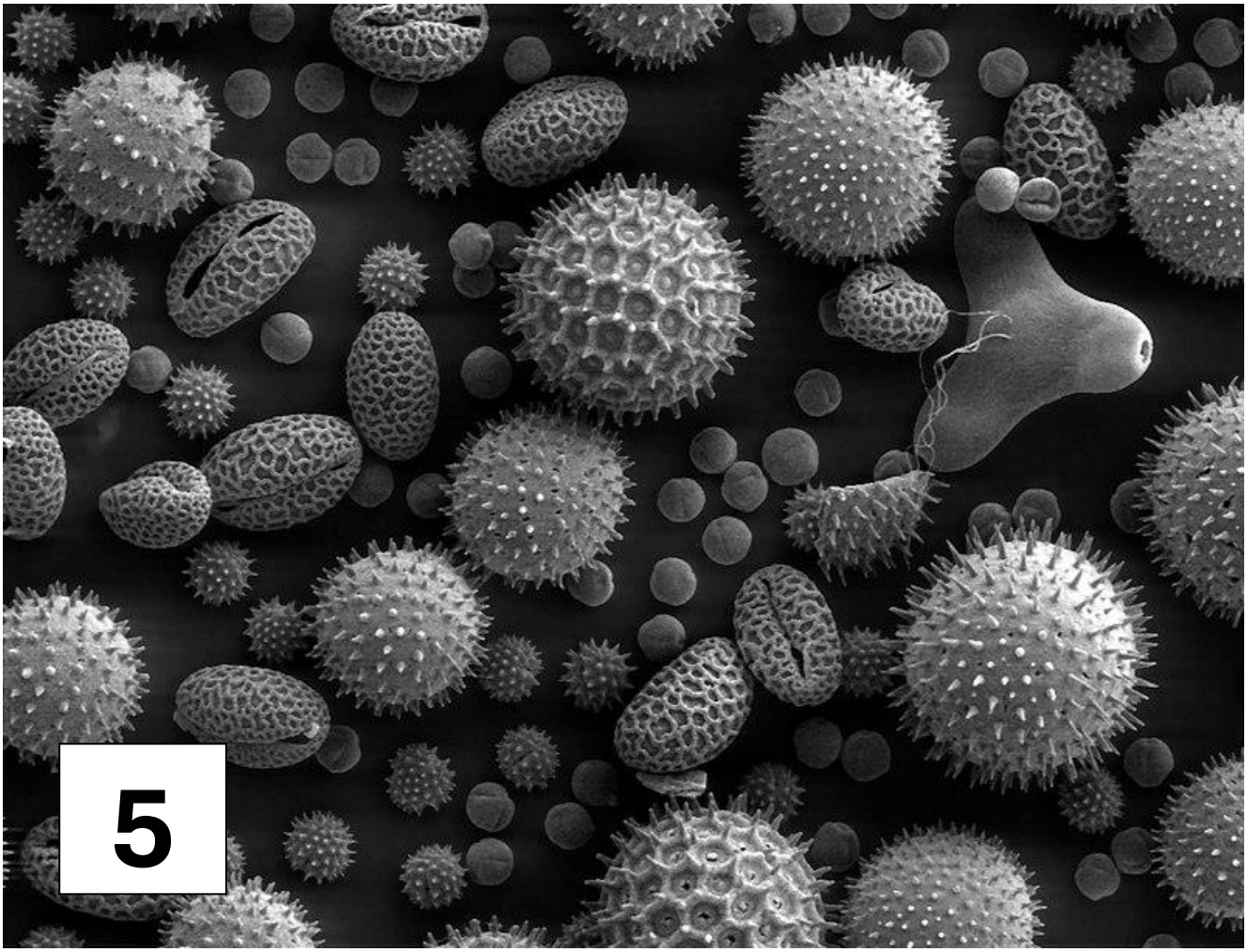


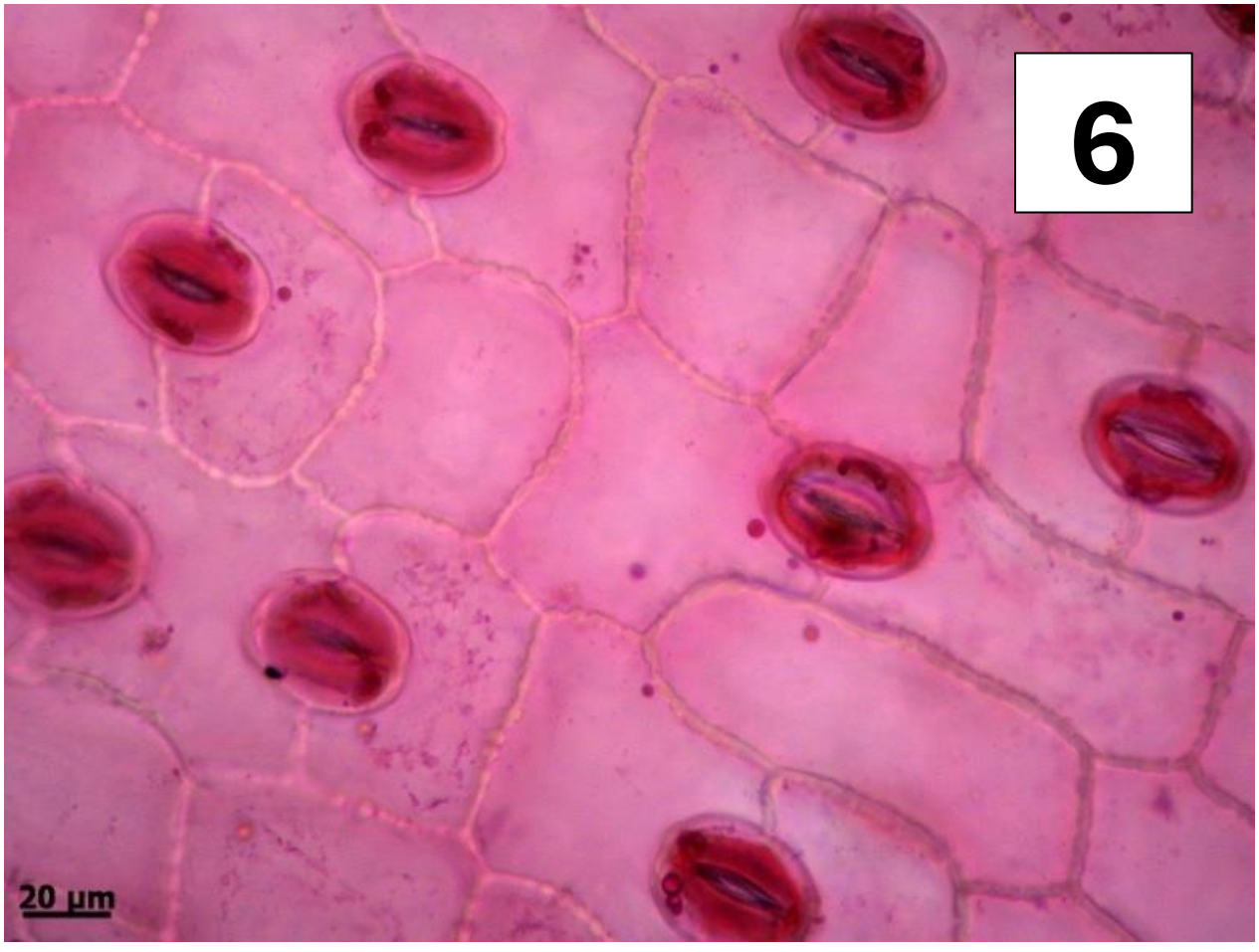
H_2O

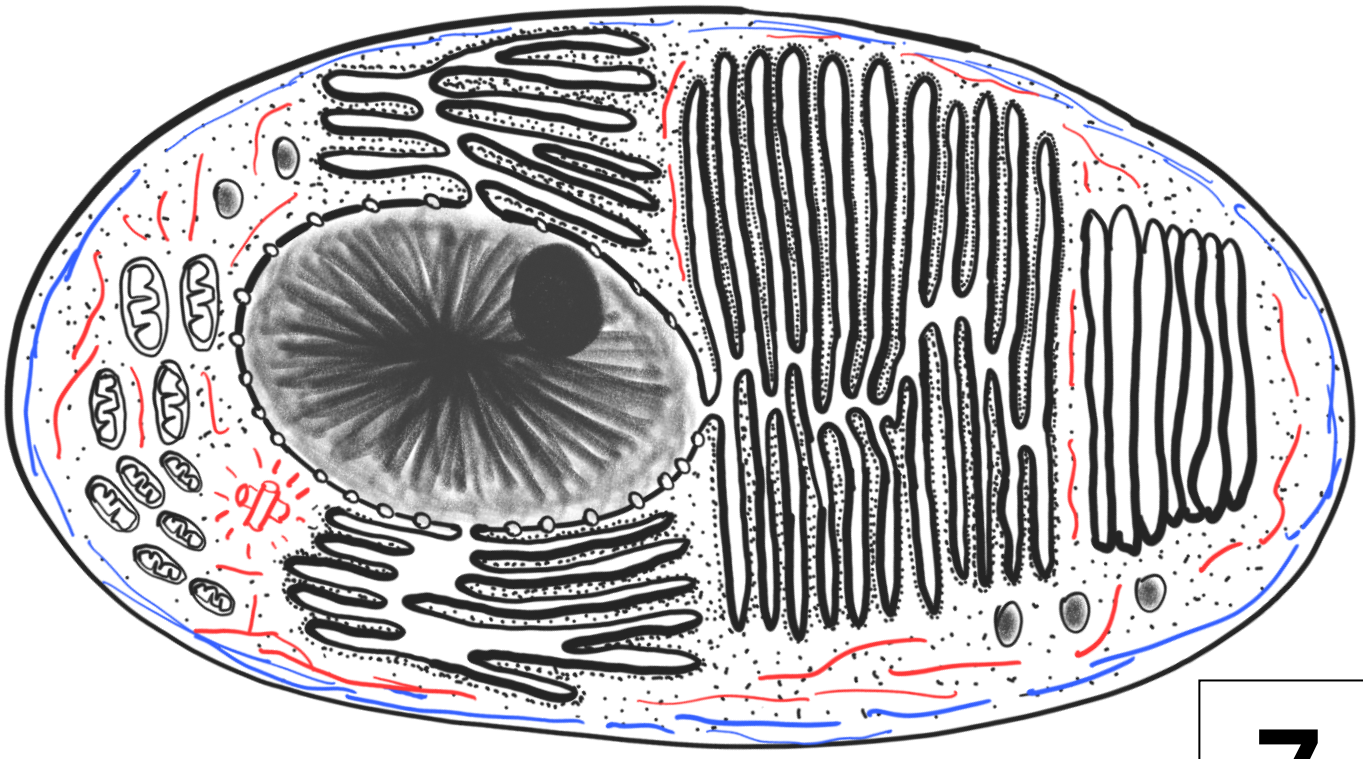
3

4



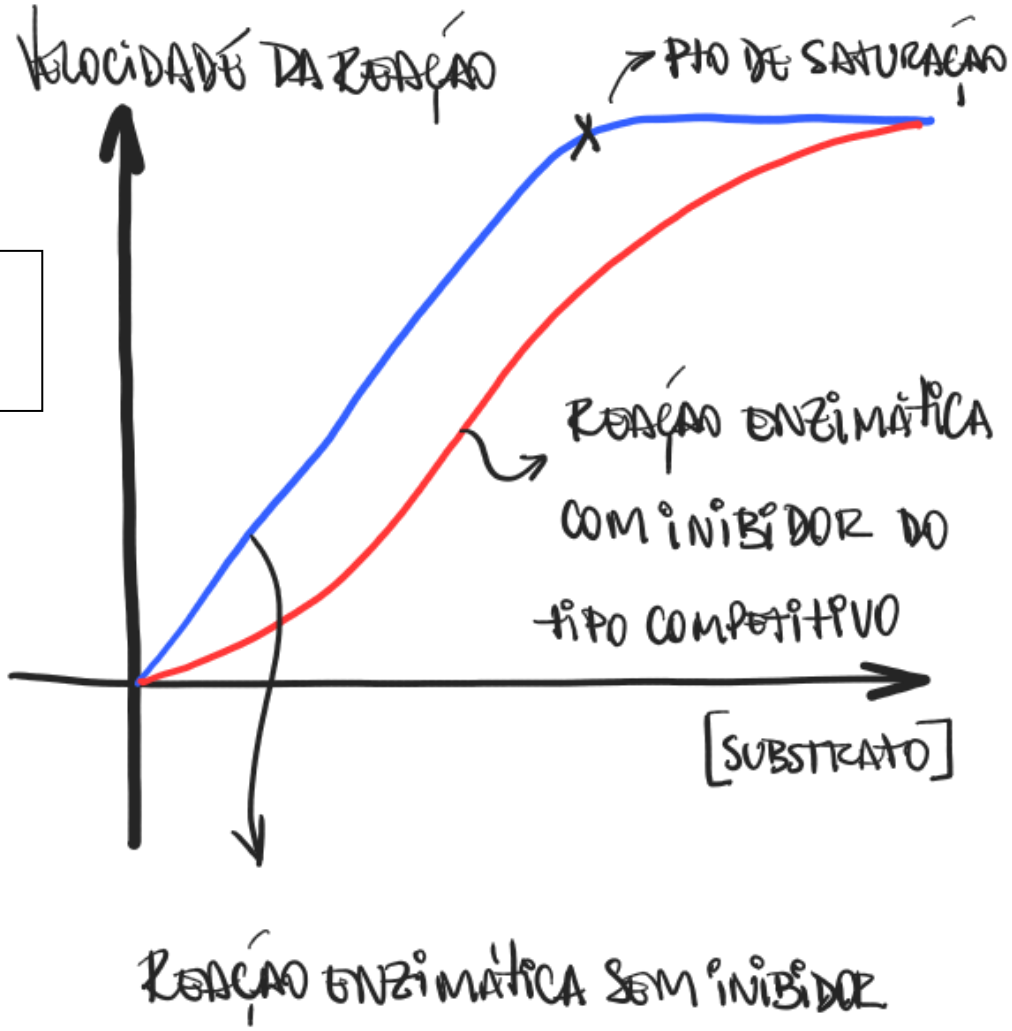

5


6
20 µm



7

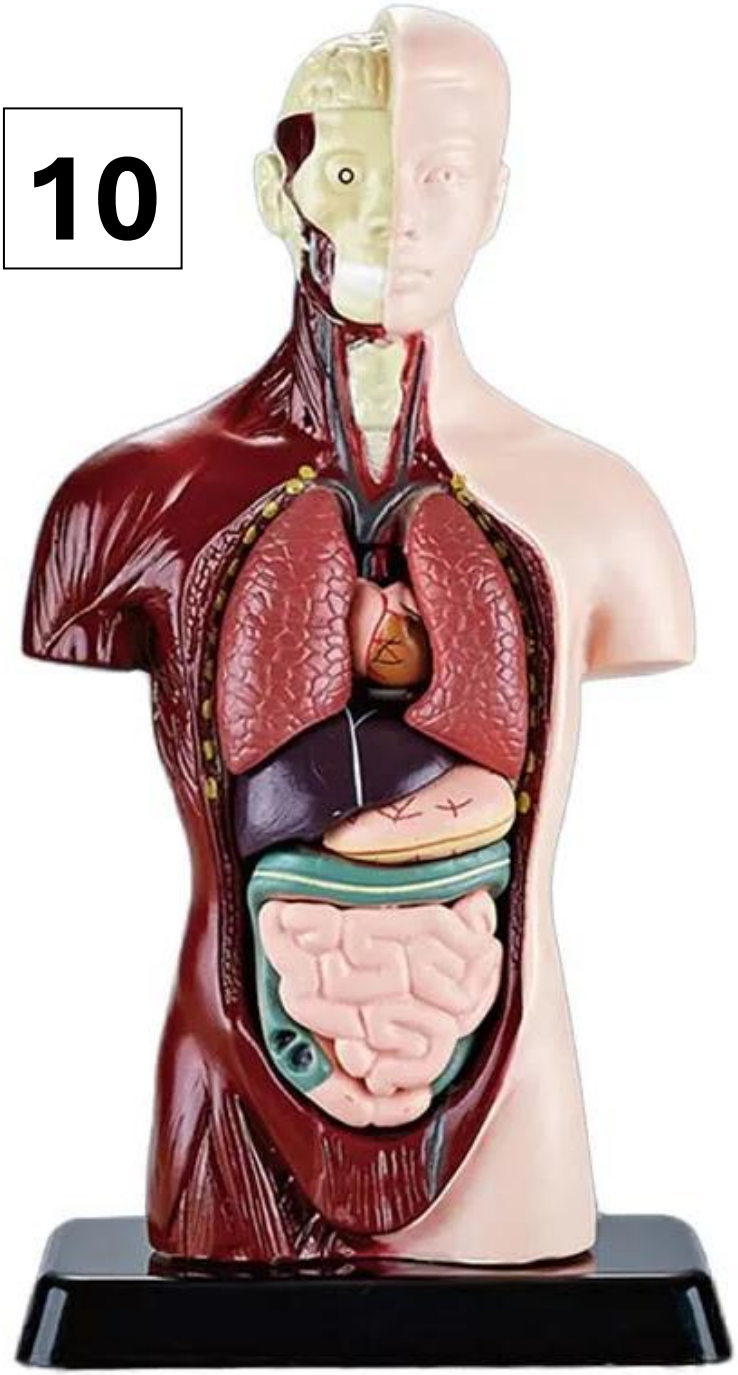
8


VELOCIDADE DA REAÇÃO
PTO DE SATURAÇÃO
REAÇÃO ENZIMÁTICA COM INIBIDOR DO TIPO COMPETITIVO
[SUBSTRATO]
REAÇÃO ENZIMÁTICA SEM INIBIDOR

9

$$V^2 = V_0^2 + 2a\Delta S$$

10



Colégio Franco
Disciplina: Biologia
Professores: Fred e Janssen
1º ano EM 2024 – Atividade 2 – "Modelagem"

Você e seu grupo receberão uma caixa vedada contendo em seu interior um objeto. Vocês não poderão abrir a caixa e terão apenas o auxílio de um imã ou de algum outro objeto que julgarem necessário. Com isso em mente, sigam os passos abaixo. Bom trabalho.

1. **Investigue** as características e proponham um modelo para o objeto que está dentro da caixa que seja satisfatório para explicar o seu comportamento. Para isso, **escrevam** abaixo suas reflexões e, em seguida, no espaço em branco, **faça um desenho que ilustre seu texto**.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

2. **Quais** as etapas que você julgou importantes ao propor o modelo?

> “Em nosso esforço para compreender a realidade somos semelhantes a um homem tentando compreender o mecanismo de um relógio fechado. Ele vê o mostrador e os ponteiros em movimento, até houve seu tique-taque, mas não tem meio algum de abrir a caixa. Se for engenhoso, poderá formar alguma imagem de um mecanismo que poderia ser responsável por todas as coisas que observa, mas jamais poderá estar certo de que sua imagem seja a única capaz de explicar suas observações.
>
> (Albert Einstein e Leopold Infeld)

Até a próxima! =)

Colégio Franco
Disciplina: Biologia
Professores: Fred e Janssen
1º ano EM 2024 – Atividade 4 – "Analogias"

Leia atentamente as 12 sentenças/afirmações abaixo.

Sentenças/afirmações:

1. Uma molécula de DNA é como um grande livro de receitas.
2. O livro possui páginas.
3. Cada página ou grupo de páginas em um livro de receitas possui informações para fabricar um prato, como um brigadeiro, ou uma macarronada, ou quem sabe ainda uma feijoada.
4. Já a molécula de DNA possui trechos que são conhecidos como genes, que seriam como as páginas de um livro de receitas.
5. Cada gene contém informação para fabricar uma proteína, assim como as páginas do livro contém informações para fabricação de um alimento específico, um prato, como dito anteriormente.
6. Porém, assim como o livro de receitas eventualmente pode ter páginas que não contém informações para cozinharmos um prato, mas sim para nos organizarmos e sabermos alguma técnica específica para podermos cozinhá-lo/produzi-lo, ou ainda alguma dica de preparação, existem genes que também não são usados para fabricar proteínas, mas sim para regular a expressão/produção delas.
7. Seguindo essa analogia, o núcleo da célula eucarionte seria como uma estante.
8. A estante guarda os livros tal como o núcleo da célula eucarionte guarda as moléculas de DNA.
9. Isso significa que em nossa estante, o núcleo da célula, há 46 livros, ou seja, 46 moléculas de DNA.
10. Existem livros maiores, livros menores.
11. Existem livros com mais receitas e livros com menos receitas.
12. Existem livros com mais dicas e livros com menos dicas, assim como existem moléculas de DNA com mais trechos reguladores da expressão e moléculas de DNA com menos trechos reguladores da expressão gênica.

Colégio Franco
Disciplina: Biologia
Professores: Fred e Janssen
1º ano EM 2024 – Atividade "Síntese protéica"

Introdução

Nas aulas teóricas de Biologia estudamos em bioquímica as principais moléculas orgânicas que formam os seres vivos. Dentre essas moléculas, vimos os ácidos nucléicos e as proteínas, dois grupos que apresentam íntima relação entre si.

Essa relação é uma das mais importantes de toda a biologia, sendo base para o estudo de suas demais áreas, como a citologia (estudo da célula), a fisiologia celular, fisiologia sistêmica (fisiologia do organismo) e principalmente a evolução biológica.

Diante disso, hoje vamos unir nossos conhecimentos biológicos com nossos conhecimentos acerca dos modelos científicos e vamos trabalhar na elaboração de um modelo voltado para o ensino de bioquímica, tópico síntese protéica, direcionado aos estudantes do 1º ano do Ensino Médio de 2025. Isso mesmo! Você trabalhará na elaboração de um modelo que poderá ser usado pelas turmas de 2025 para o estudo da síntese protéica.

A questão que buscaremos explicar é: como ocorre o processo de produção de uma proteína em uma célula eucarionte?

Portanto, com auxílio de seus colegas, siga os passos abaixo realizando o que é indicado em cada item. Primeiro, responda as questões de orientação do raciocínio e, em seguida, siga as orientações para a elaboração do seu modelo.

Perguntas para orientação do raciocínio:

1. Toda célula, independente de ser procarionte ou eucarionte, apresenta DNA? **Destaque** a resposta adequada.

   SIM NÃO

2. **Quantas células**, aproximadamente, formam o corpo humano?

   Nº de células = _____

3. **Quantas moléculas de DNA** existem em uma célula do corpo humano?

   Nº de moléculas de DNA = _____

4. **Onde ficam** as moléculas de DNA na célula eucarionte?

   Localização das moléculas de DNA na célula: _____

5. **Quais as etapas** ocorrem para que uma proteína seja produzida dentro de qualquer tipo de célula?

   _____
   _____
   _____

6. **O que é** e **para o quê serve** um gene?

   _____
   _____
   _____

7. **Qual a relação** entre DNA, RNA e proteína?

   _____
   _____
   _____
   _____
   _____

8. **Apresente** as 5 principais funções das proteínas.

   1) _____
   2) _____
   3) _____
   4) _____
   5) _____

Orientações para a construção do modelo:

- Após organizar as informações acima, vamos trabalhar na elaboração do modelo.
- Esse modelo será construído por você e seus colegas, individualmente, mas através de uma discussão coletiva.
- Primeiro você deve determinar qual ou quais os objetivos do modelo que você construirá.
- Para isso, você deve pensar: para quem se destinará esse modelo? Quem utilizará esse modelo e para qual finalidade? No caso, já sabemos que construiremos modelos pensando nos estudantes das turmas do 1º ano do EM de 2025.
- O que esse modelo representará e por que representará?
- O que esse modelo não representará e por que não representará?
- Quais as limitações desse modelo?
- O que podemos discutir a partir desse modelo?

Use as folhas de papel ofício para elaborar seu protomodelo (a primeira versão do seu modelo).

Colégio Franco
Disciplina: Biologia
Professores: Fred
1º ano EM 2024 – Atividade "O fungo *Neurospora crassa* e a síntese protéica"

Introdução

Na atividade anterior elaboramos um protomodelo sobre o processo de síntese protéica que poderá será utilizado pelas turmas do 1º ano do Ensino Médio de 2025 durante seus estudos sobre a relação do DNA com as proteínas.

Hoje vamos fazer uso de um famoso experimento e trabalharemos um pouco mais em nossos modelos da aula passada. Leia atentamente o roteiro abaixo e faça o que se pede.

Atividade

Imagine que você e seus colegas fazem parte de um grupo de pesquisas do Laboratório de Bioquímica e Metabologia de uma Universidade Federal brasileira e que vocês estão tentando desvendar alguns aspectos da genética e da bioquímica do *Neurospora crassa*, uma espécie de fungo comum do pão. Abaixo estão algumas imagens publicadas pelo seu grupo de pesquisa no último *artigo que escreveram sobre o fungo e, a seguir, algumas informações sobre ele.*



***Neurospora c.* visto ao microscópio óptico.**



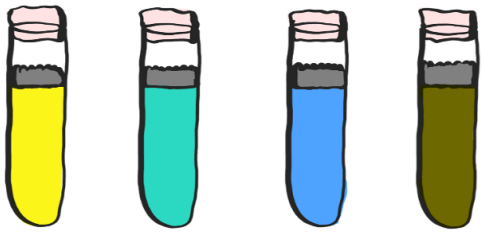
Acima, imagem do fungo *Neurospora c.* decompondo um pedaço de pão.

1. *N. crassa* é um fungo haplóide a maior parte de sua vida, o que torna sua genética simples.
2. É fácil de cultivar e cresce bem em laboratório fornecendo-se sacarose, minerais e vitaminas.
3. A variedade selvagem desse fungo, ou seja, não alterada geneticamente, consegue produzir os constituintes químicos de suas células a partir de moléculas do ambiente em que se encontra.
4. Outras variedades desse fungo, obtidas em laboratório por meio de mutações genéticas geradas intencionalmente pela sua equipe de pesquisadores não conseguem crescer em meio mínimo, se desenvolvendo apenas quando recebem nutrientes adicionais (aminoácidos) ao meio mínimo. Seu laboratório produziu três variedades além do fungo selvagem: a cepa 1, a cepa 2 e a cepa 3.

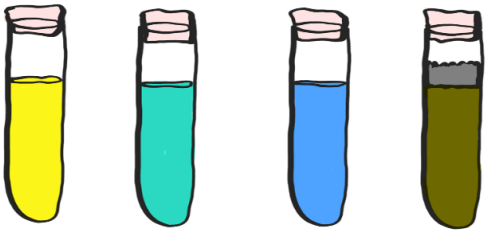
5. Aminoácidos são importante grupo de moléculas para os seres vivos pois são as unidades formadoras das proteínas. As proteínas têm muitas funções no organismo, como estrutural, enzimática, hormonal, defesa e transporte.
6. A cepa selvagem e as cepas 1, 2 e 3 foram inseridas em 4 tubos de ensaio diferentes. Cada tubo de ensaio apresentava o meio mínimo (sacarose, minerais e vitaminas) + suplementação e algum tipo de aminoácido:
    - O primeiro tubo de ensaio apresentava apenas o meio mínimo e não apresentava qualquer suplementação de aminoácido.
    - O segundo tubo de ensaio apresentava o meio mínimo + suplementação do aminoácido ornitina.
    - O terceiro tubo de ensaio apresentava o meio mínimo + suplementação do aminoácido citrulina.
    - O quarto tubo de ensaio apresentava o meio mínimo + suplementação do aminoácido arginina.
7. O modelo abaixo é o resultado do experimento realizado pelo seu grupo. Nele o fungo aparece em coloração cinza na parte superior de cada tubo de ensaio em que houve crescimento. Todos os tubos de ensaio apresentaram sua extremidade hermeticamente fechada.

Suplementos adicionados ao meio mínimo			
Nenhum	**Ornitina**	**Citrulina**	**Arginina**

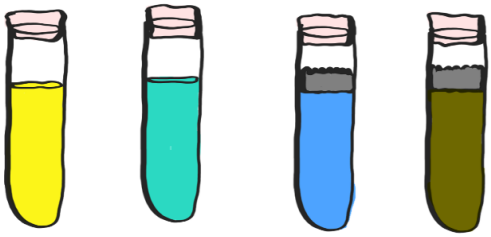
Cepa Selvagem



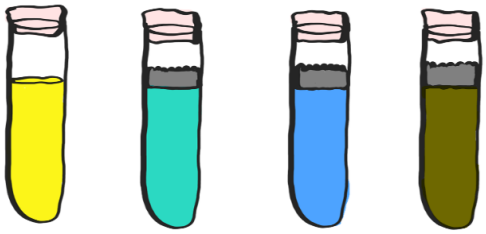
Cepa 1



Cepa 2



Cepa 3



Agora, vamos interpretar os resultados do experimento anterior.

a) **O que os dados indicam** sobre o crescimento do fungo da cepa selvagem nos quatro tubos de ensaio?

_____

_____

_____

b) A cepa 1 apresentou crescimento com algum tipo de suplementação? **Responda** "sim" ou "não" e, se sim, **indique** onde houve crescimento.

_____

_____

_____

c) A cepa 2 apresentou crescimento com algum tipo de suplementação? **Responda** "sim" ou "não" e, se sim, **indique** onde houve crescimento.

_____

_____

_____

d) A cepa 3 apresentou crescimento com algum tipo de suplementação? **Responda** "sim" ou "não" e, se sim, **indique** onde houve crescimento.

_____

_____

_____

Conclusões preliminares:

- Seu grupo conhece os resultados acima registrados por você.
- Seu grupo também já sabe que o metabolismo dos 3 aminoácidos utilizados no experimento anterior está relacionado, mas ainda não sabe como. Ou seja, vocês sabem que existe uma relação entre o metabolismo dos 3 aminoácidos para que o fungo possa se reproduzir e crescer.
- Outro ponto importante que vocês sabem por meios de outras pesquisas é que existem cadeias de reações nos organismos dos seres vivos que são catalisadas por enzimas específicas.

Com base nessas informações e na interpretação dos resultados do experimento que sua equipe realizou, **construa** com seu grupo um modelo consensual que busque explicar essa relação.

Novas informações...

Passado algum tempo, um grupo de pesquisa de outro país, ao estudar o mesmo fungo que o seu grupo de pesquisa, publicou um artigo científico em uma revista internacional apresentando alguns dados sobre o metabolismo do *N. crassa*. O resumo desses dados segue abaixo:

- Uma molécula precursora, inicial, é convertida no aminoácido ornitina pela Enzima A.
- O aminoácido ornitina é convertido no aminoácido citrulina pela Enzima B.
- O aminoácido citrulina é convertido no aminoácido arginina pela Enzima C.



Agora, considerando as novas informações, **analise** novamente o experimento do seu grupo de pesquisa e responda às perguntas abaixo:

a) Podemos afirmar que **a variedade selvagem** apresenta quais enzimas funcionais? **Justifique** sua resposta.

_____

_____

_____

b) **Compare** os resultados da cepa selvagem e da cepa 1 e **diga** o que podemos afirmar acerca das enzimas dessa última. **Justifique** sua resposta.

_____

_____

_____

c) Com base nos resultados do experimento **explique** por que podemos afirmar que a variedade selvagem apresenta mais genes ativos do que a cepa 1.

_____

_____

_____

d) Após as conclusões que seu grupo de pesquisas atingiu ao analisar os resultados de seu experimento e os resultados da pesquisa do grupo internacional, **reveja** seu modelo proposto anteriormente e **realize** mudanças nele de acordo com o que achar necessário.

IMPORTANTE: ao fazer mudanças em seu modelo anterior, faça um novo modelo no espaço abaixo para que ele possa ser comparado com o que foi feito anteriormente. Lembre-se de que a revisão de modelos é algo natural e importante quando estamos inseridos numa pesquisa científica.

Agora vamos relacionar os resultados de hoje com o modelo da aula passada: o modelo da síntese protéica.

a) **Como** os resultados do experimento analisado nesse roteiro poderiam nos ajudar a verificar se o modelo proposto por você na aula passada está correto? **Justifique** sua resposta.

_____

_____

_____

_____

_____

b) **Considerando** o experimento analisado hoje e as suas respostas anteriores, **quais** partes do seu modelo da aula passada você acha que poderiam ser ajustadas?

_____

_____

_____

_____

_____

c) **Como** essas modificações podem colaborar para entendermos melhor a relação do DNA com as proteínas?

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

d) **Por que** é importante revisar e trabalhar modelos científicos? **Como** isso se aplica ao seu modelo atual de síntese protéica?

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Boa sorte! Boa atividade! =)

Colégio Franco
Disciplina: Biologia
Professores: Fred
1º ano EM 2024 – Atividade "Refletindo sobre o modelo"

Introdução

Ao longo das atividades anteriores vocês criaram e modificaram modelos para explicar o processo de produção de uma proteína, a síntese protéica. Nesta atividade vamos refletir criticamente sobre esses modelos, analisando como foram desenvolvidos, as decisões tomadas durante o processo e como eles nos ajudam a entender melhor o fenômeno estudado. Discutam suas reflexões sobre cada uma das categorias abaixo e respondam ao que se pede.

Parte I: revisando o modelo que você construiu

Perguntas para ajudar a reflexão...

- **Quais** as principais características do modelo de síntese protéica criado e modificado por você ao longo dos encontros?

- **Quais** as limitações seu modelo de síntese protéica apresentou ao ser revisado pelos seus colegas após sua primeira apresentação para eles?

- **Descreva** quais objetivos você acredita que tenha atingido com o modelo criado por você para explicar a síntese protéica.

- **Descreva** as modificações que você realizou no seu modelo de síntese protéica ao longo das atividades. Ou seja, **como o modelo evoluiu ao longo das atividades**?

Parte II: refletindo sobre o que seu modelo revela sobre a natureza dos fenômenos estudados

- **Como** o modelo produzido por você explica o processo de produção de uma proteína?

Parte III: refletindo sobre em que situações seu modelo pode ser aplicado além do caso específico do fungo *Neurospora crassa*

- Seu modelo de síntese pode ser aplicado a outros seres vivos? **Responda** "sim" ou "não" e **justifique** sua resposta.

Parte IV: identificar as evidências e raciocínios usados para construir e modificar seus modelos.

- **Quais** provas experimentais mostraram a você a relação entre um gene e uma proteína?

Parte V: considerar como você adaptaria a linguagem e os argumentos de seus modelos para diferentes públicos.

- **Como** você explicaria seu modelo para alguém que não conhece sobre proteínas e seu processo de produção?

Boa sorte! Boa atividade! =)