



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO

JOYCE FERNANDES ALMEIDA

MODELOS 3D IMPRESSOS COMO ESTRATÉGIA PARA A APRENDIZAGEM DO
CONCEITO DE INTERAÇÃO ENZIMA-SUBSTRATO

ALFENAS/MG
2019

JOYCE FERNANDES ALMEIDA

MODELOS 3D IMPRESSOS COMO ESTRATÉGIA PARA A APRENDIZAGEM DO
CONCEITO DE INTERAÇÃO ENZIMA-SUBSTRATO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação, da Universidade Federal de Alfenas, como exigência parcial para obtenção do título de Mestra em Educação. Área de concentração: Fundamentos da Educação e Práticas Educacionais.

Orientadora: Profa. Dra. Keila Bossolani Kiill.

ALFENAS/MG

2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas

Almeida, Joyce Fernandes.
A484m Modelos 3D impressos como estratégia para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato / Joyce Fernandes Almeida. - Alfenas/MG, 2019.
148f. : il. –
Orientadora: Keila Bossolani Kiill.
Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Alfenas, 2019.
Bibliografia.

1. Química / Educação. 2. Impressão Tridimensional. 3. Fenômenos Bioquímicos. 4. Estratégias de aprendizagem. I. Kiill, Keila Bossolani. II. Título.

CDD-507.1

Ficha Catalográfica elaborada por Fátima dos Reis Goiatá
Bibliotecária-Documentalista CRB/6-425

JOYCE FERNANDES ALMEIDA

"MODELOS 3D IMPRESSOS COMO ESTRATÉGIA PARA A APRENDIZAGEM DO
CONCEITO DE INTERAÇÃO ENZIMA-SUBSTRATO"

A Banca Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Educação pela Universidade Federal de Alfenas, Área de concentração: Fundamentos da Educação e Práticas Educacionais.

Aprovado em: 29/03/2019

Profa. Dra. Keila Bossolani Kiill
Instituição: Universidade Federal de Alfenas –
UNIFAL-MG

Assinatura: 

Prof. Dr. Paulo de Ávila Junior
Instituição: Universidade Federal do ABC –
UFABC-SP

Assinatura: 

Profa. Dra. Elaine Angelina Colagrande
Instituição: Universidade Federal de Alfenas –
UNIFAL-MG

Assinatura: 

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por mais esta oportunidade de construção de conhecimento.

De modo especial a minha orientadora Profa. Keila Bossolani Kiill, pela orientação. Além de orientadora, se tornou uma grande amiga presente sempre que precisei. Obrigada por todos os ensinamentos oferecidos ao longo desses dois anos.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa em Educação Química, por todos os momentos de aprendizagem e descontração. Agradeço imensamente a Profa. Elaine, Ádila, André, Elenize, Karina, Karoline, Lize, Luana, Mariana, Matheus, Mauri e Mayra pela contribuição na realização deste trabalho e também pela amizade ao longo deste período.

Ao Leo Carlos Silva responsável pela instalação do software e dos cartuchos necessários para impressão dos modelos realizados no Laboratório de Pesquisa em Educação Química da UNIFAL. Também ao Wildson Paulo dos Reis, do Setor de Engenharia da UNIFAL pela instrução para o uso do software AutoCad®.

À minha mãe Linda Mar por seu amor e exemplo de vida que me impulsionaram a seguir sempre em frente. Ao meu irmão Jorge Fernandes e ao meu pai Jorge. Também ao meu marido Jorge Almeida que sempre esteve ao meu lado, seu companheirismo e apoio foram essenciais nesta jornada. A todos os meus familiares que sempre acreditaram e torceram por esta conquista. Agradeço pela compreensão nas horas da minha ausência.

Agradeço as minhas amigas, em especial a Eliana e Moisa pela amizade sincera, pelas conversas e por todos os momentos inesquecíveis que vivemos. As minhas amigas Gabriella, Júlia e Natália por este período que passamos juntas, dividindo alegrias e dificuldades em nossa república.

Aos membros da Banca Examinadora: Profa. Elaine Angelina Colagrande, Prof. Paulo de Ávila Junior, Prof. Gabriel Gerber Hornink e Prof. André Amaral Gonçalves Bianco. Obrigada pelas contribuições e sugestões para a melhoria deste trabalho.

À Universidade Federal de Alfenas pelo suporte oferecido para realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A presente pesquisa busca apresentar as contribuições da elaboração de modelos 3D impressos para a compreensão conceitual da interação enzima-substrato, pelos futuros professores de Química de uma Universidade Federal do Sul de Minas Gerais. Os dados foram gerados durante a disciplina Laboratório de Ensino de Química II, com base nas etapas da modelagem propostas por Justi. Identificamos por meio de questionários, desenhos, entrevistas e diário de campo da pesquisadora os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a interação enzima-substrato. Após a transcrição e análise das entrevistas, planejamos, juntamente com o professor da disciplina de Bioquímica, as atividades de intervenção para superar as dificuldades apresentadas por estes estudantes. Os dados foram analisados com base no referencial teórico-metodológico da análise de conteúdo. Fundamentamos este trabalho, bem como a análise das informações nos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por David Ausubel e no modelo de diferenciação progressiva de conceitos elaborado por Moreira. Apresentamos as contribuições da construção dos modelos 3D impressos para a elaboração e reelaboração conceitual, por meio da análise e interpretação das respostas dos estudantes obtidas nos questionários, desenhos, relatos pessoais e diário de campo da pesquisadora. Os resultados apontam que o uso dos modelos 3D e da modelagem contribuiu para a aprendizagem significativa do conceito de interação enzima-substrato. Além disso, a participação dos estudantes nas atividades de modelagem 3D, contribuiu para a formação docente, no sentido de pensar a utilização de modelos 3D impressos como recurso didático.

Palavras-Chave: Química / Educação. Impressão Tridimensional. Fenômenos Bioquímicos. Estratégias de aprendizagem.

ABSTRACT

This study intends to present the contributions of the 3D printed models design for the conceptual understanding of the enzyme-substrate interaction done by future chemistry teachers at a Federal University in the south of Minas Gerais. The data were created along the study realized at the discipline Laboratory of Teaching of Chemistry II which were based on the modeling steps proposed by Justi. We were able to identify the students' previous knowledge about the enzyme-substrate interaction through the researcher's questionnaires, drawings, interviews and a field journal. After the transcription and analysis of the interviews, we planned together with the Biochemistry professor, interventional activities to overcome the difficulties presented by these students. The data were analyzed upon content analysis on theoretical-methodological framework. Our work was underpinned upon both the information analysis about the assumptions of the Theory of Significant Learning proposed by David Ausubel and the progressive differentiation of concepts model elaborated by Moreira. The 3D printed models design contributions and conceptual re-elaboration was due to the analysis and interpretation of the students' answers obtained in the researcher's questionnaires, drawings, personal reports and field diary. The results show that the use of 3D models and modeling contributed to the significant learning upon the concept of enzyme-substrate interaction. In addition, students' participation in 3D modeling activities contributed to teacher training when thinking about dealing with the use of 3D printed models as a didactic resource.

Keywords: Chemistry / Education. Printing Three-Dimensional. Biochemical Phenomena. Learning strategies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação esquemática do modelo Ausubeliano de diferenciação conceitual progressiva para o conceito de interação enzima-substrato.....	20
Figura 2 – Diagrama Modelo de Modelagem.....	28
Figura 3 – a) Representação tridimensional de uma proteína e b) Modelo 3D impresso...	32
Figura 4 – Esquema das etapas realizadas para construção dos modelos 3D.....	46
Figura 5 – Tela inicial do software 3D Cube® Creativity ReImagined.....	56
Figura 6 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do questionário inicial.....	61
Figura 7 – Representação da interação enzima-substrato do estudante E2.....	71
Figura 8 – Representação da interação enzima-substrato do estudante E5.....	72
Figura 9 – Representação da interação enzima-substrato do estudante E3.....	72
Figura 10 – Representação da interação enzima-substrato do estudante E13.....	73
Figura 11 – Representação da interação enzima-substrato do estudante E8.....	74
Figura 12 – Modelo 3D impresso de ajuste induzido elaborado com base no desenho criado por Linenberger e Bretz (2015).....	75
Figura 13 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E7 e b) Modelo 3D impresso escolhido pelo Grupo 1.....	76
Figura 14 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E3 e b) Modelo 3D impresso escolhido pelo Grupo 2.....	76
Figura 15 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E6 e b) Modelo 3D impresso escolhido pelo Grupo 3.....	78
Figura 16 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E10 e b) Modelo 3D impresso escolhido pelo Grupo 4.....	78
Figura 17 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E11 e b) Modelo 3D impresso escolhido pelo Grupo 5.....	79
Figura 18 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E8 e b) Modelo 3D impresso reelaborado escolhido pelo Grupo 1.....	81
Figura 19 – Representação da interação enzima-substrato elaborado pelo Grupo 1.....	81
Figura 20 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E1 e b) Modelo 3D impresso reelaborado escolhido pelo Grupo 2.....	82

Figura 21 – a) Representação de um “cofator” interagindo e b) Representação de um exemplo quando não ocorre interação.....	83
Figura 22 – a) Representação da interação enzima-substrato E1 desenhada no verso da folha e b) Representação da interação enzima-substrato E1 desenhada no verso da folha.....	84
Figura 23 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E6 e b) Modelo 3D impresso reelaborado escolhido pelo Grupo 3.....	85
Figura 24 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E10 e b) Modelo 3D impresso reelaborado escolhido pelo Grupo 4.....	86
Figura 25 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E11 e b) Modelo 3D impresso reelaborado escolhido pelo Grupo 5.....	87
Figura 26 – Mapa dos conceitos considerados fundamentais para a compreensão da interação enzima-substrato.....	89
Figura 27 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do questionário final.....	91
Figura 28 – Nuvem de palavras das respostas dos estudantes referentes ao relato pessoal.....	96
Figura 29 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do teste de retenção.	99
Figura 30 – Representação 3D da enzima pepsina humana (estrutura secundária).....	132
Figura 31 – Imagem da página inicial do software “Estudo interativo da estrutura e função de proteínas”.....	133
Figura 32 – Página inicial do software “Enzyme”.....	133
Figura 33 – Página inicial do software “A cinética da reação enzimática”.....	134
Figura 34 – Representação de um mecanismo de ação enzimática da quimotripsina.....	137
Figura 35 – Representação do mecanismo de ação de hidrólise de ligações éster catalisada por esterases e lipases.....	138
Figura 36 – Representação do mecanismo de ação das serina proteases.....	139
Figura 37 – Representações da mudança conformacional da enzima induzida pela ligação com o substrato	141
Figura 38 – Representações da interação enzima-substrato extraídas de Livros didáticos.	143
Figura 39 – Representações da interação enzima-substrato extraídas de Livros didáticos.	144
Figura 40 – a) Desenho do modelo chave-fechadura e b) Desenho do modelo ajuste induzido.....	144

Quadro 1 – Questões do questionário inicial e seus respectivos objetivos.....	60
Quadro 2 – Descrição das categorias obtidas para cada um dos aspectos analisados.....	62
Quadro 3 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do questionário inicial.....	63
Quadro 4 – Categorização das respostas dos estudantes referentes às entrevistas sobre os modelos mentais expressos na forma de desenhos.....	67
Quadro 5 – Questões do questionário final e seus respectivos objetivos.....	90
Quadro 6 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do questionário final	92
Quadro 7 – Questões do questionário de teste de retenção e seus respectivos objetivos....	98
Quadro 8 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do questionário de teste de retenção.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Categorias de Significado e a frequência absoluta (N) de respostas dos estudantes referentes às entrevistas sobre os modelos mentais expressos na forma de desenhos.....	70
Tabela 2 – Identificação dos elementos codificados nos modelos 3D impressos dos grupos G1 a G5.....	77
Tabela 3 – Identificação dos elementos codificados nos modelos 3D impressos reelaborados dos grupos G1 a G5.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS

ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
AR	Ausência de resposta
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CNS	Conselho Nacional de Saúde
E	Estudante
EA	Explica de forma adequada
EI	Explica de forma inadequada
EPA	Explica de forma parcialmente adequada
E-S	Enzima-substrato
LD	Livro didático
NS	Não sabe
NTI	Núcleo de Tecnologia de Informação
CPC	Conhecimento Pedagógico do Conteúdo
P	Pesquisadora
PLA	Ácido polilático
PNLD	Programa Nacional do Livro e do Material Didático
stl	Stereolithography
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	18
2.2	MODELOS NO ENSINO.....	24
2.3	MODELOS 3D.....	30
2.4	INTERAÇÃO ENZIMA-SUBSTRATO.....	32
3	OBJETIVOS E QUESTÃO DE PESQUISA	37
3.1	OBJETIVO GERAL.....	37
3.1.1	Objetivos Específicos.....	37
3.1.2	Questão de Pesquisa.....	38
3.2	HIPÓTESE.....	38
4	METODOLOGIA	39
4.1	PRESSUPOSTOS DA PESQUISA.....	39
4.1.1	Caracterização dos sujeitos da pesquisa.....	40
4.1.2	Descrição da pesquisa e dos instrumentos para geração de informações.....	41
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	45
4.2.1	Etapas de construção dos modelos 3D.....	46
4.2.2	Investigação das contribuições do uso dos modelos 3D para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato.....	53
4.2.3	Análise dos dados qualitativos obtidos.....	53
4.2.4	Validação da pesquisa.....	54
4.2.5	Procedimentos metodológicos para elaboração dos modelos 3D.....	55
4.2.6	Comandos para elaboração dos desenhos 3D.....	56
4.2.7	Comandos para impressão dos desenhos 3D.....	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.1	ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO INICIAL.....	59
5.1.1	Análise das entrevistas realizadas com os estudantes.....	66
5.2	ANÁLISE E AVALIAÇÃO DOS MODELOS 3D ELABORADOS PELOS ESTUDANTES.....	75
5.3	ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO FINAL.....	90
5.3.1	Análise do relato pessoal.....	95

5.4	ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO PARA TESTE DE RETENÇÃO.....	97
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E AÇÕES FUTURAS.....	105
	REFERÊNCIAS.....	107
	ANEXOS.....	115
	APÊNDICES.....	118

1 INTRODUÇÃO

A temática “modelos e modelagem” é objeto de estudo da presente pesquisa de mestrado intitulada “Modelos 3D impressos no ensino de Química como estratégia para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato”. Esse estudo foi realizado no período letivo da disciplina Laboratório de Ensino de Química II, do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Alfenas, no ano de 2018, sob orientação da professora Dra. Keila Bossolani Kiill.

Este estudo foi fundamentado nos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), sobretudo, para construção dos modelos tridimensionais por meio da modelagem. Também tem como base um trabalho recente de levantamento sistemático da literatura brasileira elaborado por Almeida e Kiill (2018), sobre o ensino de ciências usando modelos e modelagem com a TAS, intitulado: Modelos e modelagem na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa no ensino de Ciências: revisão de artigos de pesquisas brasileiras (2008-2017).

Verificamos neste trabalho que, do total de 43 artigos analisados, apenas 7 apresentaram atividades de ensino fundamentadas em modelos e modelagem com as perspectivas da TAS. Além disso, não foram encontrados trabalhos que correlacionavam atividades de ensino de Química baseadas em modelos e modelagem com a teoria em questão. Sendo assim, os apontamentos apresentados sugerem a necessidade de realização de novas pesquisas e aprofundamento do tema, no sentido de esclarecer as implicações dos modelos e suas aproximações com a TAS para o ensino de ciências; o que leva a crer que a pesquisa de mestrado em andamento pode contribuir para futuras discussões sobre a participação de estudantes em atividades de modelagem, na perspectiva da TAS.

Modelagem é entendida, de acordo com Justi e Gilbert (2003), como uma estratégia de ensino proposta para elaboração, expressão, teste e reformulação de modelos a partir da análise de representações sobre um determinado conceito, fenômeno ou objeto físico, as quais podem ser utilizadas para a construção de modelos.

Para a realização deste estudo sugerimos o uso da impressora 3D para produção dos modelos, como um recurso para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato, o qual atualmente não possui um modelo concreto. Apoiamos nossa proposição em resultados de pesquisas recentes na área de ensino de Química que demonstram a vantagem em relação à

facilidade de produção dos modelos 3D e das contribuições em relação às percepções de aprendizado dos estudantes (JAGER, 2016; SMIAR; MENDEZ, 2016).

O interesse pelo tema surgiu a partir das leituras e discussões realizadas nos encontros semanais do grupo de pesquisa em Educação Química da Universidade Federal de Alfenas. O contato com o grupo de pesquisa possibilitou a identificação da pesquisadora com a temática, tornando um incentivo para a reestruturação do projeto. Este trabalho surge de uma pesquisa exploratória inicial em bancos de dados de artigos, teses e livros, com objetivo de levantar o máximo de informações sobre o tema em questão. Nessa trajetória, as leituras e conversas foram conduzindo a pensar na possibilidade do uso da impressora 3D como recurso para a aprendizagem de conceitos químicos.

Escolhemos este recurso, primeiramente, pela disponibilidade da impressora 3D na instituição. Com a chegada de dois novos cartuchos do material e com a instalação do software e da impressora, realizamos a primeira impressão de um modelo na forma de teste. Após imprimir o primeiro modelo, certificamos seu funcionamento, bem como as condições de manipulação e, em seguida, foi dado andamento das atividades.

Desta forma, considerando as dificuldades¹ dos estudantes com relação à compreensão do conceito de interação enzima-substrato devido à sua complexidade, o contexto atual das pesquisas brasileiras, bem como a disponibilidade de uso da impressora 3D, focalizamos nossa investigação em torno do uso de modelos 3D para facilitar a aprendizagem deste conceito. Neste estudo, nos propusemos a compreender as contribuições do uso dos modelos 3D impressos para a aprendizagem do conceito de interação enzima substrato durante a participação dos estudantes nas atividades de modelagem tridimensional.

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Segundo Carlisle, Tyson e Nieswandt (2015), o estudo dos conteúdos químicos exige, muitas vezes, além da compreensão conceitual, o desenvolvimento de habilidades visuais², que permitem estabelecer a transição entre o macroscópico e o submicroscópico. Alguns autores

¹ Tais dificuldades foram investigadas por meio do levantamento de informações da literatura, relatos do professor responsável pela disciplina de Bioquímica e pelos próprios estudantes, por exemplo, a dificuldade em compreender a dinâmica do processo em que as interações químicas provocam a mudança na conformação da enzima.

² Para Ferreira e Arroio (2013) habilidades visuais ou de visualização incluem as habilidades de visualização espacial, orientação espacial e relações espaciais, necessárias aos estudantes para compreensão correta das informações contidas nas visualizações.

como Ferreira e Arroio (2013), Gilbert e Treagust (2009) e Teruya e colaboradores (2013), consideram que sem o uso de modelos essa compreensão pode ser ainda mais dificultada. Ainda que as estratégias de ensino possam favorecer a construção de conhecimentos científicos escolares³, muitos estudantes têm dificuldade em desenvolver habilidades de visualização e, conseqüentemente, de representação destes conceitos e processos (GILBERT, 2004).

O conceito de interação enzima-substrato recebe maior atenção neste estudo, por ser um dos conceitos que os estudantes mais apresentam dificuldade de compreensão, devido à sua natureza complexa e abstrata (BRETZ; LINENBERGER, 2012; LINENBERGER; BRETZ, 2014, 2015; SANGIOGO; ZANON, 2012). No ensino de Química, o modelo de interação enzima-substrato pode ser relevante, por exemplo, para o estudo de diversos conceitos, como estereoquímica, complementaridade eletrônica (carga, hidrofobicidade e polaridade) e complementaridade geométrica (LINENBERGER; BRETZ, 2014, 2015). E ainda, existe o desafio da integração de conteúdos entre a Química e a Bioquímica que precisa ser superado, tanto no ensino médio como no ensino superior (CORREIA et al., 2003).

Ainda que existam diferentes formas de representação do conceito de interação enzima-substrato, não há investigações na literatura sobre a elaboração e o uso de modelos concretos para aprendizagem deste conceito. Portanto, o presente estudo pode contribuir para futuras discussões sobre o uso de modelos 3D impressos para o ensino e a aprendizagem de conceitos científicos escolares, dentre eles o conceito de interação enzima-substrato.

No ensino de Química o entendimento do universo tridimensional tem sido favorecido pelo uso de ferramentas de visualização molecular, como modelos e projeções. A escolha das pesquisadoras em utilizar os modelos 3D e não apenas os modelos 2D seria facilitar a compreensão dos estudantes, por meio do desenvolvimento das habilidades visuais e de estimular a experiência prática com a visão tridimensional (RAUPP, 2015). Apenas o uso de representações bidimensionais pode dificultar a compreensão de conceitos químicos mais complexos, contribuindo para a construção de concepções alternativas⁴ pelos estudantes, por exemplo, a generalização excessivamente simplificada da representação de uma reação química⁵ pode comprometer a aprendizagem de conceitos relacionados à cinética, dinâmica química e a química quântica (KALIAKIN; ZAARI; VARGANOV, 2015).

³ Conhecimento científico escolar é entendido aqui como sendo o resultado de um processo de transposição do conhecimento científico, proposto pelos cientistas, para o conhecimento científico ensinado no contexto do ensino fundamental e médio de Ciências (VILLANI; NASCIMENTO, 2003).

⁴ Concepções alternativas se baseiam em ideias preexistentes na mente do indivíduo sobre um determinado tema ou conceito que não correspondem à explicação que a Ciência propõe (LUZ et al., 2008).

⁵ De acordo com Cakmakci (2010, p. 451) alguns exemplos que poderiam contribuir para a construção de concepções alternativas seriam conceitualizar “a taxa de reação como tempo de reação” ou “que um catalisador não afeta ou não altera os mecanismos de uma reação”.

Nesta perspectiva, a construção e o uso de modelos 3D pode ser uma estratégia relevante para o desenvolvimento de habilidades de visualização necessárias para a compreensão da interação enzima-substrato. O uso da impressão 3D pode ser uma alternativa promissora e financeiramente viável, já que o processo de construção dos modelos é considerado simples e os custos dos materiais utilizados para a sua produção é relativamente baixo quando comparado a outros recursos/investimentos para pesquisa realizados pelas universidades (BROWN, 2015; GRIFFITH; CATALDO; FOGARTY, 2016).

Nos últimos anos, periódicos internacionais da área de ensino de Ciências têm evidenciado o uso de modelos 3D impressos em diferentes tipos de abordagens, como: ensino, a topografia, a odontologia, medicina, dentre outros. Entretanto, no Brasil, a elaboração e o uso de modelos 3D impressos para o ensino e a aprendizagem de conceitos químicos ainda é um assunto pouco discutido. Por outro lado, muitas pesquisas estão sendo realizadas por pesquisadores nos Estados Unidos e publicadas em periódicos internacionais de grande relevância na área de ensino de Química (GRIFFITH; CATALDO; FOGARTY, 2016; KALIAKIN; ZAARI; VARGANOV, 2015; MEYER, 2015; SCALFANI; VAID, 2014; SMIAR; MENDEZ, 2016). Estas pesquisas apontam que os modelos 3D impressos podem ser utilizados como ferramentas eficazes para o ensino e a aprendizagem de diversos conceitos químicos.

Além do uso de modelos 3D em sala de aula, outra estratégia que tem sido explorada é a construção de representações pelos próprios estudantes, por meio de ferramentas pictóricas (desenhos), a qual tem contribuído para a construção de significado e para a prática de produção do conhecimento (ABUALIA et al., 2016; GILBERT, 2013; JIMÉNEZ-TENORIO; NÚÑEZ; MARTÍNEZ, 2016; PRAIN; TYTLER, 2012). Nesse intuito, utilizamos os desenhos como instrumento para a investigação do conhecimento prévio dos estudantes sobre o conceito científico escolar proposto.

Ao desenvolver atividades representacionais, o levantamento das concepções prévias dos estudantes pode revelar a sua forma de pensar sobre um determinado tema ou conceito químico e, ainda, orientar a prática do professor (AZZOLIN, 2012; COVOLAN, 2003). Consideramos a ideia prévia como sendo fundamental para a aprendizagem na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Neste sentido, este trabalho também visou investigar os conhecimentos prévios por meio de desenhos de modelos representacionais, de forma a proporcionar a participação ativa dos estudantes no processo de construção dos modelos 3D, oferecendo condições para que o estudante faça a relação das novas informações com seus conhecimentos prévios, visando à aprendizagem significativa.

Com base em pressupostos da TAS, esperamos aprofundar as discussões sobre a relação desta teoria com as atividades da modelagem. Além disso, este estudo pode contribuir para futuras discussões sobre a participação de estudantes em atividades de modelagem. De acordo com Paganini, Justi e Mozzer (2014), este é um assunto relevante para a comunidade científica, contudo, existem poucos estudos na literatura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta sessão será apresentado o referencial teórico que fundamentou o desenvolvimento desta pesquisa. Em um primeiro momento são apresentadas as contribuições da Teoria da Aprendizagem Significativa, à luz do referencial do psicólogo David Ausubel e seus seguidores. Esta discussão tem como objetivo buscar uma aproximação entre a teoria Ausubeliana com o contexto pesquisado, a fim de contribuir para o entendimento e planejamento das atividades propostas no presente trabalho. No segundo momento são apresentados os principais conceitos e abordagens sobre o tema modelos no ensino e aprendizagem de Química, a partir da perspectiva teórica de pesquisadores da área. Em seguida, será abordado o uso de modelos 3D na ciência. Por último, será realizado um breve levantamento das dificuldades de aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato e dos conceitos subsunçores relatados na literatura. Buscamos com estas informações, contribuir para a discussão a respeito das limitações e potencialidades da compreensão do conceito em questão.

2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) foi proposta inicialmente por David Ausubel, em 1963, no livro “The psychology of meaningful verbal learning” e, em 1968, na obra “Educational psychology: a cognitive view”. Esta última foi publicada pela segunda vez em 1978, com a coautoria de Novak e Hanesian. Esta teoria vem sendo fortalecida com as contribuições de diferentes autores como Moreira e Masini (1982, 2006), Moreira (1983, 1999, 2000), Moreira e Buchweitz (1993), dentre outros (MOREIRA, 2010, p. 2).

De acordo com Novak (1984), a TAS surge em oposição à aprendizagem memorística⁶, sendo fundamentada com base na aquisição de novos conhecimentos, mediante a relação com proposições e conceitos relevantes já existentes e incorporadas de forma não arbitrária e substantiva na estrutura cognitiva⁷ do aprendiz. Segundo Moreira (1997, p. 20) a não

⁶ Para Novak (1984, p. 23) “aprendizagem memorística” e para Moreira (2012, p. 06) “aprendizagem mecânica” refere-se à memorização verbal, onde novos conhecimentos podem ser armazenados de forma arbitrária e literal, ou seja, o novo conhecimento não interage significativamente com o conhecimento preexistente. Neste caso, não há aprendizagem significativa.

⁷ Estrutura cognitiva pode ser compreendida como “armazenamento organizado de informações na mente do ser que aprende”. O resultado desse processo é a aprendizagem cognitiva, focalizada na teoria Ausubeliana (MOREIRA; MASINI, 2006, p. 95).

arbitrariedade refere-se à relação adquirida entre a nova informação ou material potencialmente significativo “com conhecimentos especificamente relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva”. Já a substantividade “significa que o que é incorporado à estrutura cognitiva é a substância do novo conhecimento, das novas ideias, não as palavras precisas usadas para expressá-las”.

Nesse sentido, a aprendizagem significativa implica no processo em que as novas informações são modificadas, adicionadas ou adaptadas aos conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva, que servem de ancoragem a uma nova informação, a fim de que tenha significado ao estudante (CAKIR, 2008). Dessa forma, como afirma Moreira (2009, p. 15) “o processo de aquisição de informações resulta em mudança, tanto da nova informação adquirida como do aspecto especificamente relevante da estrutura cognitiva ao qual essa se relaciona”. Estes conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz consistem de conceitos, ideias ou proposições, os quais Ausubel denomina “subsunçor” ou “conceito subsunçor” (MOREIRA, 2009, p. 7).

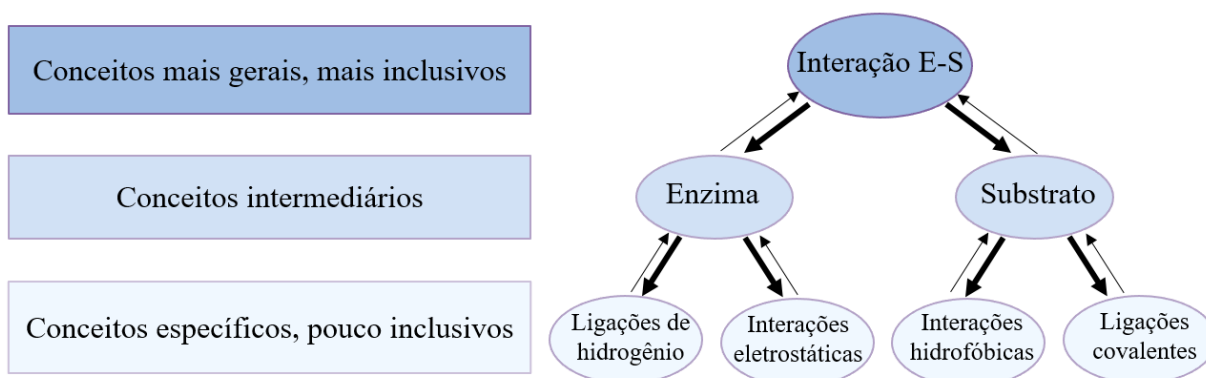
Segundo a Teoria Ausubeliana, existe uma organização hierárquica na estrutura cognitiva do aprendiz, em que as ideias e conceitos mais gerais e inclusivos ficam no topo da hierarquia, seguidos das ideias e conceitos menos inclusivos, com menor poder de generalização (MOREIRA, 2009). A característica dinâmica da estrutura cognitiva pode ser evidenciada em dois diferentes aspectos: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora.

Na diferenciação progressiva existe uma interação entre os conceitos e a nova informação, de modo a servir de base para aquisição de novos significados. À medida que os conceitos interagem de forma significativa tornam-se mais diferenciados e elaborados, podendo servir de âncora para a atribuição de significados a novas informações. A reconciliação integradora pressupõe a relação significativa entre ideias e conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva, possibilitando a reorganização cognitiva. É por meio deste processo que são delineadas as diferenças e similaridades entre conceitos que se relacionam (AUSUBEL, 2002; MOREIRA, 2009).

Moreira e Masini (2006) apresentam um modelo de hierarquia conceitual, o qual sugere as possíveis direções recomendadas para o processo de diferenciação progressiva e para a reconciliação integrativa. A Figura 1 demonstra essa disposição hierárquica de conceitos em um diagrama bidimensional elaborado por Moreira e Masini (2006, p. 33), no qual “as linhas mais fortes sugerem a direção recomendada para a diferenciação progressiva de conceitos e as linhas mais fracas sugerem a reconciliação integrativa”. Sendo assim, para se alcançar a

reconciliação integrativa é necessário “descer”, partindo dos conceitos mais gerais para os mais específicos e “subir” novamente em direção aos conceitos gerais.

Figura 1 – Representação esquemática do modelo Ausubeliano de diferenciação conceitual progressiva para o conceito de interação enzima-substrato.



Fonte: adaptado de Moreira e Masini (2006, p.33).

Assim sendo, o processo de aprendizagem significativa pressupõe a interação ativa e integradora entre as ideias, simbolicamente expressas com algum aspecto ou conteúdo “especificamente relevante na estrutura cognitiva do estudante” (AUSUBEL, 2002, p. 122), como, por exemplo, um símbolo já significativo, uma imagem ou um conceito. Contudo, a aprendizagem significativa, bem como, a aquisição de novos significados requer um material potencialmente significativo, ou seja, o material a ser aprendido, deve ser relacionável ou incorporável à estrutura cognitiva do estudante, de forma não arbitrária e não literal (AUSUBEL, 2002).

Existem duas condições para que um material seja considerado potencialmente significativo. A primeira delas é a natureza do material, que consiste na capacidade do material em ser suficientemente não arbitrário e substancial com ideias correspondentemente relevantes, que estão de acordo com a capacidade de aprendizagem do ser humano (AUSUBEL, 2002). Além disso, o material deve ser “logicamente significativo” ou ter “significado lógico”. A segunda condição depende da estrutura cognitiva do estudante, que está relacionada à disponibilidade de conceitos subsunçores específicos, com os quais o novo material seja relacionável (MOREIRA, 2009).

Diante destas condições, é importante não considerar apenas, intencionalmente e substancialmente, o material a ser utilizado em atividades potencialmente significativas, mas

conhecer a estrutura cognitiva do aprendiz, bem como a natureza do material a ser utilizado, com o objetivo de promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, a fim de garantir uma aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2002).

Outro fator relevante a ser considerado é em relação à atitude de aprendizagem significativa, que consiste em refletir que se a intenção do estudante é memorizar de maneira arbitrária e literal, mesmo utilizando um material potencialmente significativo, tanto o processo de aprendizagem como seu resultado são memorísticos (mecânicos) e vazios de sentido. (AUSUBEL, 2002). Moreira (2009) constata, de modo recíproco, que mesmo se o estudante estiver disposto a aprender, se o material não for potencialmente significativo, tanto o processo de aprendizagem como seu resultado não são significativos.

Quanto à aprendizagem significativa, esta pode ser dividida em três formas: subordinada, superordenada e combinatória. A aprendizagem significativa subordinada pressupõe que novos conhecimentos potencialmente significativos adquiram significado ao aprendiz, por meio da ancoragem em conhecimentos relevantes preexistentes mais gerais e inclusivos. Na aprendizagem superordenada o estudante estabelece ligações entre os diferentes conceitos prévios, a fim de buscar semelhanças e diferenças que possam, através de um processo indutivo, dar origem a novos conhecimentos. Entretanto, quando a aprendizagem não é nem subordinada nem superordenada, a aprendizagem é combinatória. Nesta forma de aprendizagem o processo de significação de um novo conhecimento resulta da interação com conhecimentos mais amplos já existentes na estrutura cognitiva (MOREIRA, 2011; MOREIRA; MASINI, 2006).

Analogamente, existem três tipos de aprendizagem significativa, as quais são: representacional, conceitual (de conceitos) e proposicional. A aprendizagem significativa representacional envolve aprender que um determinado símbolo (por exemplo, palavras) representa, em significado, a mesma coisa que os seus referentes (como, por exemplo, objetos ou conceitos). Sendo assim, neste tipo de aprendizagem significativa há uma equivalência representacional entre um símbolo e seu referente (AUSUBEL, 2002).

Por exemplo, a aprendizagem representacional para o fenômeno químico da interação enzima-substrato, “ocorre quando o som dessas palavras ou a representação proposta para esse fenômeno (sendo esta potencialmente significativa) passa a representar ou torna-se equivalente a uma situação que significaria para o estudante o fenômeno em si” (KIILL, 2009, p. 27).

Nesse sentido, na aprendizagem significativa não existe simplesmente uma associação, mas sim a interação entre o símbolo e o fenômeno, de modo que o estudante estabeleça uma

relação de equivalência representacional com conceitos ou conteúdos relevantes preexistentes na sua estrutura cognitiva, de maneira não arbitrária e substantiva (MOREIRA, 2009).

Por outro lado, a aprendizagem de conceitos⁸ ocorre por meio do conhecimento de atributos característicos comuns pertencentes aos conceitos e resulta da experiência direta através de sucessivas etapas de generalização, comprovação e generalização de hipóteses. De modo geral, a aprendizagem conceitual pode ser considerada uma aprendizagem representacional, já que os conceitos são representados por símbolos genéricos ou categóricos e representam abstrações dos atributos comuns dos referentes, portanto, representam equivalência entre objetos ou conceitos (AUSUBEL, 2002).

No exemplo citado anteriormente, quando o estudante adquire o significado mais genérico do fenômeno de “interação enzima-substrato”, esse símbolo (palavras ou conceitos) passam a ser significante para uma aprendizagem subsequente. Sendo assim, enquanto na aprendizagem representacional é estabelecida uma equivalência, em termos de significado, entre o símbolo (representação proposta para o fenômeno) e um referente (o fenômeno em si), na aprendizagem conceitual a equivalência se dá entre o símbolo e os atributos característicos comuns pertencentes a diversos exemplos do referente (diferentes situações nas quais há interação entre a enzima e o substrato). Outra situação de aprendizagem conceitual seria o reconhecimento pelos estudantes dos elementos comuns em diferentes mecanismos de ação de enzimas.

Vale ressaltar que o processo de formação dos conceitos subsunçores é mais frequente na idade pré-escolar até a idade escolar, quando as crianças já possuem um conjunto adequado de conceitos. Na medida em que novos conceitos são adquiridos com mais frequência, outros novos conceitos são adquiridos por meio do processo de assimilação (forma de aprendizagem), que ocorre, predominantemente, em crianças mais velhas e nos adultos. No entanto, com o passar do tempo, geralmente na idade adulta, a chance de aprender conceitos novos é muito menor (AUSUBEL, 2002).

Por fim, a aprendizagem proposicional, possui maior grau de complexidade em relação à aprendizagem do significado de novas palavras, porque consiste na aprendizagem significativa de novas ideias expressas verbalmente em forma de proposições. É importante destacar que a aprendizagem representacional e conceitual são pré-requisitos para a aprendizagem proposicional, contudo, a aprendizagem proposicional não se resume na soma dos significados das palavras e conceitos (AUSUBEL, 2002; MOREIRA, 2006).

⁸ Conceitos são entendidos na perspectiva de Ausubel (2002, p. 153) “*como, objetos, eventos, situaciones o propiedades que poseen unos atributos característicos comunes y se designan mediante el mismo signo o símbolo*”.

Para compreender melhor como se dá o processo de aprendizagem e retenção de caráter significativo por assimilação, Ausubel e Novak propõe a Teoria da Assimilação de Ausubel (AUSUBEL; MASINI, 2011; BRANDRIET; WARD; BRETZ, 2013). O princípio da assimilação descreve sobre o processo de aquisição, retenção e organização de significados na estrutura cognitiva. Segundo Ausubel (2002) a ideia central desta teoria é que os novos significados são adquiridos no processo interacional, entre conhecimentos novos e potencialmente significativos com conceitos e proposições já existentes (chamados de subsunçores). O produto desse processo de interação é uma modificação (assimilação) do significado relevante tanto de novas, como de velhas informações, criando um novo produto com um novo significado para o aprendiz (chamado de produto interacional).

Para Moreira (2009, p. 17) “mesmo após o aparecimento de novos significados, a relação entre as ideias-âncora e as assimiladas permanece na estrutura cognitiva”. Assim, o produto interacional, mais diferenciado e estável, pode servir de âncora para novas informações e possibilitar sua retenção significativa.

Ainda discutindo a assimilação na aprendizagem significativa descrita por Ausubel (2002), todo aprendizado ou fica retido na memória ou é esquecido. No caso do tempo de retenção ou intervalo de memória, o produto interacional pode sofrer modificações de maneira variável de acordo com os fatores individuais da estrutura cognitiva (presença de subsunçores relevantes, estabilidade, clareza e capacidade de compreensão das relações entre as ideias) durante o processo interativo. Neste aspecto, o processo de aprendizagem significativa quando acompanhada de interiorização e compreensão das relações entre as ideias resultam em um armazenamento estável de informações que são recordadas por um longo período de tempo.

Entretanto, é importante destacar que, quando o aprendiz consegue compreender conceitos e proposições expressas verbalmente, sem o uso de ilustrações empíricas ou concretas, mas, não dispõe de subsunçores adequados que permitam atribuir significados aos novos conhecimentos, é necessário o uso de um recurso instrucional chamado “organizador prévio” (MOREIRA, 2009). Sobre a finalidade dos organizadores prévios, Moreira (2011, p. 31) observa:

como recurso para mostrar que novos conhecimentos estão relacionados com conhecimentos prévios, organizadores devem ser sempre utilizados no ensino, pois o aluno muitas vezes não percebe essa relacionabilidade e pensa que os novos materiais de aprendizagem não têm muito a ver com seus conhecimentos prévios. Organizadores prévios devem ajudar o aprendiz a perceber que novos conhecimentos estão relacionados a ideias apresentadas anteriormente, a subsunçores que existem em sua estrutura cognitiva prévia.

Por exemplo, antes de introduzir o conceito de interação enzima-substrato, o professor deve retomar os conceitos de enzima e substrato, no sentido de um nível com maior abstração, generalidade e inclusividade, assim como, retomar o conceito de interação química ensinado anteriormente ao aprendiz.

Portanto, Moreira (2011) afirma que os organizadores prévios devem ser mais abrangentes, mais gerais e inclusivos do que o material a ser aprendido. Ainda acrescenta que o organizador prévio pode ser uma situação-problema, uma pergunta, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação ou uma demonstração.

Em síntese, consideramos a aprendizagem significativa como sendo um processo progressivo de internalização, diferenciação e reconciliação de significados, no qual professor e estudante realizam a negociação de significados, no sentido de promover a construção do conhecimento científico escolar.

2.2 MODELOS NO ENSINO

Materiais didáticos⁹ que buscam, além da compreensão conceitual, o desenvolvimento de habilidades visuais, que permitem estabelecer a transição entre o macroscópico e o submicroscópico, têm sido objeto de investigação de várias pesquisas na área de ensino de Química (CARLISLE; TYSON; NIESWANDT, 2015; GILBERT, 2004; KIILL, 2009; SANA, 2016). Dentre estes recursos, destacamos os modelos como forma de contribuir para o processo de ensino e de aprendizagem (GILBERT; TREAGUST, 2009).

Os modelos são compreendidos aqui como sendo a representação parcial de uma ideia, um fenômeno, um acontecimento, um objeto físico, construído a partir de um conjunto de ideias que se inter-relacionam na mente, que podem ser externalizadas e revelar as ideias do indivíduo ou de um grupo sobre um determinado conceito científico (BLANCO-ANAYA; JUSTI; BUSTAMANTE, 2017; JUSTI, 2006). Justi (2010, p. 211) também afirma que um modelo pode ser “elaborado com um, ou mais, objetivo (s) específico (s) e que pode ser modificado”.

Contudo, destacamos cinco elementos principais para o entendimento da natureza dos modelos na Ciência. O primeiro elemento a ser considerado é a representação parcial, essa ideia

⁹ Para Botas e Moreira (2013) materiais didáticos são materiais elaborados a partir de objetivos específicos para facilitar a aprendizagem. Os materiais didáticos são classificados em três tipos: convencionais (livros e revistas), audiovisuais (vídeos e dispositivos) e novas tecnologias (softwares e outros programas computacionais).

significa que pode ou não existir semelhança entre o modelo e a ideia a ser modelada. Além disso, os modelos “não são a realidade”, “não são cópias da realidade” e “têm limitações”. Essa compreensão pode evitar equívocos, como, por exemplo, o estudante pensar que os “modelos atômicos desenhados nos livros são ampliações do átomo, ou que o modelo atômico mais recente é perfeito” (JUSTI, 2010, p. 211). Além disso, os professores e futuros professores devem enfatizar que os modelos são representações, não o modelo real, evitando a interpretação incorreta do modelo, “levando a generalizações, e conseqüentemente a formas de raciocínios equivocadas” (VASCONCELOS; ARROIO, 2013, p. 1246).

O segundo elemento tem relação ao contexto científico, em que, não necessariamente o objeto, ideia ou processo a ser modelado pode ser visualizado no cotidiano, ou seja, não se deve relacionar o conceito de modelo como sendo “coisas”. O terceiro está associado ao fato do modelo não estar disponível na natureza, reforçando a ideia que os modelos são construções da mente humana (JUSTI, 2010). O quarto elemento se refere às diferentes possibilidades do uso dos modelos, como, por exemplo, fazer previsões e testar ideias.

Finalmente, o quinto elemento considera que o conhecimento científico pode ser modificado, a partir de novas ideias e teorias que propõem a mudança dos modelos atualmente aceitos pela Ciência (TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2002). Estes cinco elementos da natureza dos modelos têm sido objeto de estudo de outros pesquisadores, que reforçam a importância destes aspectos para a compreensão de modelos na Ciência (KRELL; BELZEN; KRÜGER, 2014).

No ensino de Química, os modelos têm sido utilizados em diversos estudos, com diferentes objetivos, entre eles estão: favorecer a socialização de ideias, facilitar a visualização e a compreensão de entidades complexas e abstratas, auxiliar na interpretação de resultados de experimentos e fundamentar a construção de explicações e previsões sobre o comportamento de um determinado fenômeno observável (GILBERT, 2013; JUNIOR; FERREIRA; HARTWIG, 2009; MEYER, 2015; SOUZA; JUSTI, 2010, 2011).

Consideramos, no presente estudo, a existência de dois diferentes tipos de modelos na ciência: os modelos mentais e os modelos conceituais. Os modelos conceituais constituem representações externas¹⁰ de fenômenos ou processos, ou seja, são modelos escolhidos em consenso por um grupo social de cientistas e compartilhado, criado com o objetivo de facilitar a compreensão e o ensino (ORNEK, 2008; SANTOS et al., 2013). Por outro lado, a Ciência

¹⁰ Santos e colaboradores (2013, p. 55) definem representações externas como sendo “elementos visuais com relações espaciais que retratam os fenômenos do mundo externo aos indivíduos”.

Cognitiva considera o modelo mental como sendo a representação interna¹¹ que o indivíduo tem em sua mente, expressa individualmente ou em grupo (modelo expresso), que pode ou não se aproximar do modelo que a Ciência propõe (LEE; CHANG; WU, 2015).

Sob a perspectiva de Johnson-Laird (1983), os modelos mentais consistem em representações internas, análogos, instáveis, não necessariamente precisas ou corretas, descartáveis, que o indivíduo constrói na memória de trabalho¹² quando se depara com uma situação nova (JOHNSON-LAIRD (1983), apud MOREIRA, 2011, p. 73). Na definição de Moreira (1996, p. 195), os modelos mentais consistem em “blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinaados conforme necessário” e, desta forma, podem revelar a estrutura cognitiva do indivíduo. Para Moreira (2009) a construção desses modelos pode ser compreendida como sendo o primeiro passo para a aprendizagem significativa.

Pensando na construção dos modelos mentais, estes podem ser expressos a partir de um ou mais modos de representação, os quais podem ser: concreto, verbal, matemático, visual ou gestual (JUSTI, 2010, 2015). A partir desse pressuposto, os modos de representação podem ser combinados, por exemplo, o modelo “concreto misto”, que consiste na combinação do modo concreto de representação com elementos visuais, verbais e/ou matemáticos, a exemplo disso temos o “modelo concreto do sistema solar com etiquetas explicativas” (JUSTI, 2010, p. 215).

O modo concreto (ou material) é caracterizado como sendo uma representação tridimensional elaborado a partir de materiais resistentes como, por exemplo, um modelo de plástico colorido do sistema circulatório humano. O modo verbal pode consistir da descrição das entidades a serem modeladas (conceito químico, fenômeno ou processo) e as relações entre elas em um modelo, ou pode ser elaborado com base em analogias e metáforas, por exemplo, “o coração é uma bomba”. Nestes dois casos, os elementos verbais podem ser falados ou escritos (JUSTI, 2010, p. 214). O modo matemático (ou simbólico) consiste de símbolos, fórmulas e equações químicas ou expressões matemáticas, sobretudo equações, por exemplo, a equação geral dos gases ideais. O modo visual envolve o uso de gráficos, diagramas e animações que podem ser visualizadas como, por exemplo, representações bidimensionais de estruturas químicas e modelos virtuais. Por fim, o modo gestual é aquele que utiliza de movimentos do corpo ou de suas partes, por exemplo, crianças que se movimentam na representação do sistema solar (GILBERT, 2004, 2005; JUSTI, 2010).

¹¹ Para Gilbert (2010, p. 5) representações internas “são as construções mentais pessoais de um indivíduo, também conhecido como imagens mentais”. Para ficar mais claro, o autor utiliza a palavra “visualização” no lugar de “representação interna”.

¹² Memória de trabalho são geralmente modelos mentais, que o indivíduo constrói no momento, a partir de modelos mentais preexistentes, para representar um determinado conceito, objeto ou proposição, de maneira estável ou não (MOREIRA, 2009).

Justi (2010) destaca que um modelo expresso pode se tornar um modelo consensual, desde que um determinado grupo social esteja de acordo com um modelo expresso comum. Neste caso, se o grupo social for formado por cientistas e utilizar o modelo consensual para a construção de conhecimento científico, este pode ser definido como sendo um modelo científico. Um modelo científico, por sua vez, pode ser denominado modelo histórico, quando permanecer aceito em diferentes contextos históricos. Estes modelos servem de base para explicações adequadas para um determinado fenômeno, por exemplo, o modelo atômico de Bohr e o modelo do DNA proposto por Watson e Crick (GILBERT, 2005).

Um modelo de ensino é aquele desenvolvido com o objetivo de contribuir para a aprendizagem dos modelos curriculares. Estes modelos de ensino, muitas vezes, são empregados na sala de aula sob a forma de analogias ou metáforas e servem de base para aprendizagens futuras. Os modelos curriculares são, na maioria das vezes, versões mais simplificadas de modelos que foram escolhidos, em consenso, pela comunidade científica (BERGQVIST; DRECHSLER; RUNDGREN, 2016).

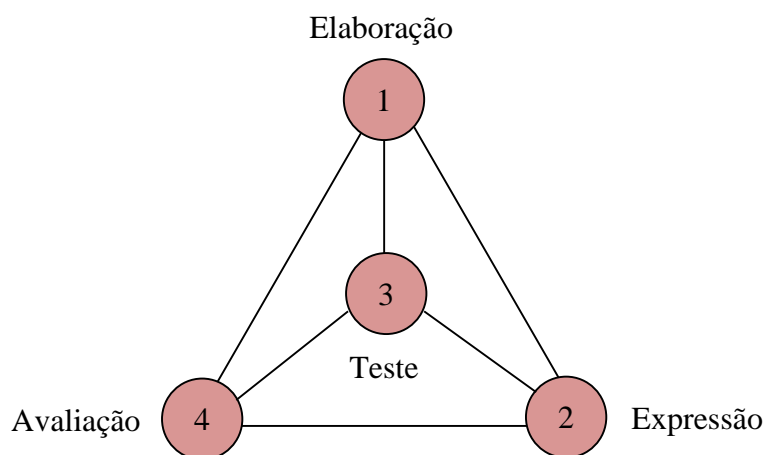
Outros autores consideram a existência dos modelos teóricos e empíricos na Ciência. Estes autores definem modelo teórico como sendo um modelo que possibilita a previsão e a descrição de fenômenos ou objetos e, por outro lado, o modelo empírico seria resultado da observação de um sistema ou fenômeno do mundo físico (HERNÁNDEZ; COUSO; PINTÓ, 2014). Sangiogo e Zanon (2012) enfatizam a importância dos modelos teóricos criados pelos cientistas para a explicação de fenômenos observáveis. Para os autores, fazer a relação entre os dois modelos “é pensar quimicamente” (SANGIOGO; ZANON, 2012, p. 28).

É importante destacar que, para esta investigação, consideramos o significado de “modelagem” como sendo equivalente ao termo “modelização”. Para tal consideração, apoiamos-nos em Duso e colaboradores (2013) e Prego e Puig (2016) que descrevem modelização como sendo um processo de construção de modelos representacionais. Assim, consideramos modelagem e modelização como conceitos sinônimos e, nesta abordagem o conceito de modelagem é utilizado.

A perspectiva que adotamos neste trabalho considera que não existem regras para a construção dos modelos, mas sim um consenso entre os pesquisadores sobre as principais etapas envolvidas no processo dinâmico e não linear¹³ da modelagem, as quais são: elaboração, expressão, teste e avaliação, como representado no diagrama Modelo de Modelagem apresentado na Figura 2 (JUSTI, 2010).

¹³ Consideramos que, não linear seja o fato de cada uma das etapas exercem influência umas sobre as outras (JUSTI, 2010).

Figura 2 – Diagrama Modelo de Modelagem.



Fonte: adaptado de Justi (2015, p.39).

Estudos de contextos de ensino fundamentado em atividades de modelagem como os de Paganini, Justi e Mozzer (2014) e Souza e Justi (2010), tem utilizado o diagrama Modelo de Modelagem (Figura 2) como referencial teórico para elaborar suas propostas para o ensino de Química. Este diagrama foi proposto por Justi e Gilbert (2002) a partir de um estudo da maneira como os pesquisadores elaboravam seus modelos e dos poucos estudos publicados na literatura da época (JUSTI; GILBERT (2002), apud PAGANINI; JUSTI; MOZZER, 2014, p. 1023).

Para Justi (2015, p. 40) é importante esclarecer os significados das principais etapas envolvidas na construção dos modelos, bem como discutir as subetapas que as constituem. A primeira etapa consiste na elaboração de um modelo mental, cuja finalidade é entender os objetivos e, “obter informações sobre a entidade a ser modelada (na estrutura cognitiva prévia ou a partir de fontes externas: bibliografia, atividades empíricas etc)” e fundamentar o modelo a partir de uma analogia ou modelo matemático e integrar estas considerações para a elaboração do modelo. Muñoz-Campos, Franco-Mariscal e Branco-López (2018) destacam que os modelos iniciais dos estudantes devem ser identificados antes do planejamento da proposta de intervenção didática em atividades de modelagem.

Em seguida, é realizada a etapa de expressão, na qual o modelo mental pode ser acessado por outros indivíduos por meio do uso de um ou mais modos de representação. Na etapa subsequente, os testes do modelo expresso podem ocorrer de duas formas, empírica ou mental, de acordo com as características dos modelos e disponibilidade de realização dos testes. Por último, a etapa de avaliação busca identificar as abrangências e limitações do modelo, com base

na avaliação da coerência entre o modelo e seus objetivos, no sentido de possibilitar ao estudante a utilização do modelo em diferentes situações (JUSTI, 2015).

De acordo com Justi (2010), o ensino fundamentado em modelagem é baseado na participação dos estudantes em atividades que possibilitam o envolvimento dos mesmos em todas as etapas propostas para a construção dos modelos. Estudos relatam que a participação ativa dos estudantes em atividades de modelagem contribui para construção e apropriação de novos conhecimentos, “que vai além da memorização de fatos e informações” (SOUZA; JUSTI, 2011, p. 37).

Na perspectiva de Pérez, Galindo e Galli (2018, p. 2102-5) “o processo pelo qual os estudantes constroem seus próprios modelos, o que lhes permite explicar e prever fenômenos” é definido como “modelagem escolar”. De acordo com os autores, o estudante propõe, inicialmente, uma explicação de um determinado fenômeno, por exemplo, a interação enzima-substrato. A partir desse modelo inicial, “que inclui suas próprias concepções alternativas”, os estudantes revisam e reelaboram seu modelo inicial durante o desenvolvimento da atividade de modelagem, com o objetivo de construir modelos que expliquem cientificamente o fenômeno apresentado (PÉREZ; GALINDO; GALLI, 2018).

As etapas da modelagem escolar descrita apresentam três níveis. Conforme explica Justi (2006, p. 180), “*estas etapas tienen lugar en tres niveles diferentes*”. Nesse processo, inicialmente o estudante elabora e comunica aos membros do grupo o seu modelo mental. Em seguida, o grupo interage de forma dinâmica e apresenta as similaridades e contradições do modelo consensuado pelo grupo. A terceira etapa (nível) corresponde à discussão e socialização do modelo envolvendo toda a turma. Diante desta proposição, entendemos que o professor deve atuar durante todo o processo, favorecendo discussões dos códigos das representações utilizadas por cada grupo, negociando ideias entre os alunos e oferecendo condições para que o estudante possa repensar/reconstruir seus modelos, caso o modelo elaborado pelo estudante apresente incoerências (SOUZA; CARDOSO, 2008; JUSTI, 2006). Assim, como afirma Justi (2015), existe uma constante interação dos pares com o professor, a fim de trocar ideias e experiências durante as atividades de modelagem, visando a construção de conhecimento.

Portanto, os modelos podem ser considerados como sendo recursos essenciais para a construção de conhecimento científico, para a organização da estrutura cognitiva e, por fim, para a aprendizagem significativa (MOREIRA, 2014). Fundamentamos esta proposição em trabalhos como os de Borssoi e Almeida (2013) e Tauceda e Del Pino (2013), que têm

evidenciado os modelos como sendo materiais potencialmente significativos¹⁴ para atividades de ensino. Porém, no ensino de Química, ainda é um tema pouco explorado. Outros estudos sugerem a necessidade de realização de novas pesquisas, no sentido de investigar a participação dos estudantes em atividades de modelagem e esclarecer como a construção dos modelos se processa (JUSTI, 2010; TABER, 2013).

2.3 MODELOS 3D

Os modelos 3D são utilizados no ensino de Química por professores e estudantes, sobretudo em pesquisas internacionais como ferramenta de visualização de representações de fenômenos submicroscópicos, que possibilita o ensino e a aprendizagem de conceitos complexos e abstratos (CALCABRINI; ONNA, 2019; FOURCHES; FEDUCIA, 2019; JAGER, 2016). O modelo 3D impresso é compreendido aqui como sendo um modo concreto de representação (modelo concreto), produzido a partir de materiais resistentes, como o plástico, que possibilita a visualização tridimensional (dimensões y, x e z) de um objeto específico (GILBERT, 2004; LEE; CHANG; WU, 2015).

O uso da impressão 3D iniciou no final da década de 1980 e até os dias atuais essa tecnologia continua se expandindo e beneficiando diferentes áreas, como a arqueologia e a medicina, sobretudo, a área de educação, ciência e desenvolvimento sustentável. Atualmente existem diferentes tipos de impressoras 3D com custo acessível¹⁵ para a produção de materiais educacionais em laboratórios de pesquisas nas universidades e empresas privadas. O funcionamento destas impressoras se baseia no derretimento de filamentos de plástico a cerca de 170 a 250 °C que, são depositados em camadas para produção dos objetos. Os materiais mais comuns são o ABS (acrilonitrila butadieno estireno) e o PLA (ácido polilático)¹⁶, porém, este último é mais empregado por ser um plástico biodegradável derivado do amido de milho (CANESSA, 2013).

O modelo para impressão 3D pode ser projetado em programa de design assistido por computador (CAD), o qual estabelece as coordenadas x, y e z que determina o volume e

¹⁴ Consideramos como sendo material potencialmente significativo, um material que possa ser relacionado com conceitos subseqüentes presentes na estrutura cognitiva do estudante, de forma não arbitrária e não literal (AUSUBEL, 2002; MOREIRA, 2009).

¹⁵ Segundo pesquisas atuais em sites de vendas os custos de uma impressora 3D de última geração variam de R\$ 620,00 a R\$ 17.000,00.

¹⁶ Optamos pelo uso do PLA (ácido polilático) por apresentar características como: decomposição rápida (cerca de um ano de acordo com o fabricante); não ser tóxico; produzir modelos leves e resistentes e possuir o menor custo, se comparado aos outros tipos de materiais (CANESSA, 2013).

dimensões do modelo. Estes programas são utilizados em pesquisas, sobretudo pela facilidade do seu uso, e algumas versões destes programas estão disponíveis gratuitamente para estudantes e professores, como, por exemplo, o AutoCad® e o SketchUp® (BROWN, 2015). Além disso, alguns autores descrevem sobre o formato específico de arquivo para a impressão 3D, o “stl” (abreviatura da palavra stereolithography), que consiste de uma extensão do arquivo que codifica o desenho para a impressora específica, neste caso, uma Cube 3D Printer (KALIAKIN; ZAARI; VARGANOV, 2015; SCALFANI; VAID, 2014).

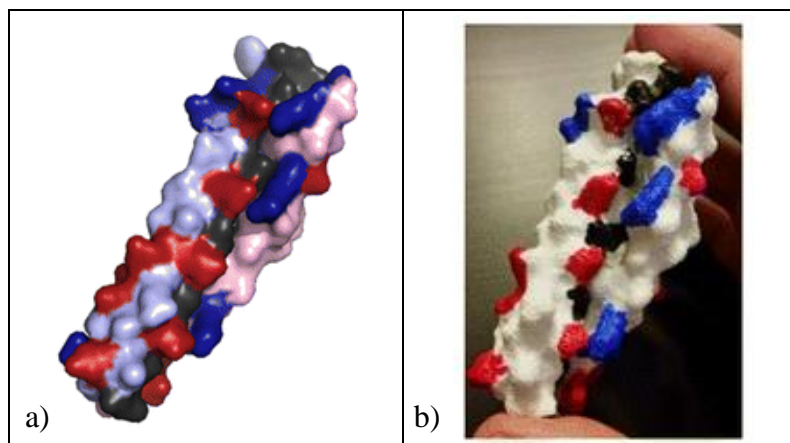
Entretanto, consideramos que existem algumas limitações do uso da impressão 3D, como: a restrição da dimensão máxima para construção dos modelos, neste caso, 14 x 14 x 14 cm; o tempo de impressão que é de cerca de 3 a 4 horas (dependendo do modelo da impressora); e a falha operacional. Porém, estas limitações podem ser superadas, caso o desenho e impressão dos modelos sejam planejados em peças separadas, para serem, posteriormente, montadas (CANESSA, 2013; SMIAR; MENDEZ, 2016).

Apesar das limitações, a impressão 3D tem sido amplamente utilizada em pesquisas internacionais para a construção de modelos 3D, em estudos sobre a aprendizagem de conceitos químicos. Estas pesquisas estão utilizando os modelos 3D impressos como recurso de ensino e aprendizagem de conceitos abstratos que ainda não possuem modelos concretos, como exemplo o modelo de Bohr, a polaridade das ligações e hibridação (SMIAR; MENDEZ, 2016).

Outros estudos descrevem o uso de modelos 3D impressos para produção de estruturas moleculares para ensinar conceitos de sua simetria (SCALFANI; VAID, 2014), geometria molecular, conformação e estereoquímica (CARROLL; BLAUCH, 2017), para criação de orbitais de hidrogênio (GRIFFITH; CATALDO; FOGARTY, 2016) e para ensinar conceitos de energia livre e energia potencial (KALIAKIN; ZAARI; VARGANOV, 2015). Estes estudos têm demonstrado resultados positivos em relação à interatividade e a aprendizagem de conceitos pelos estudantes.

Uma proposta de ensino e aprendizagem desenvolvida por Meyer (2015) por meio da impressão 3D (Figura 3a e 3b), apresenta a criação de um modelo concreto baseado em um experimento que explora a relação entre a estrutura e a função de proteínas. Uma de suas proposições é de que os estudantes fossem capazes de perceber e compreender as interações não covalentes presentes do enovelamento e nas interações proteína-proteína a partir do uso do modelo 3D impressos.

Figura 3 – a) Representação tridimensional da proteína e b) Modelo 3D impresso



Fonte: extraído de Meyer (2015, p. 2121).

Considerando a importância do desenvolvimento de novas pesquisas, no sentido de orientar futuras discussões sobre o processo de modelagem 3D¹⁷, nos propusemos a investigar como os modelos 3D impressos podem contribuir para aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato.

Neste contexto, as proposições aqui apresentadas fundamentam o referencial teórico deste trabalho a respeito da elaboração e do uso de modelos 3D no ensino. Diante destas perspectivas, buscamos destacar temas relevantes para a discussão e realização da pesquisa. Em seguida, o conceito de interação enzima-substrato será abordado, buscando descrever as dificuldades de aprendizagem deste conceito já relatadas na literatura e contribuir para a compreensão da relação deste conhecimento científico escolar com a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS).

2.4 INTERAÇÃO ENZIMA-SUBSTRATO

A Química pode ser considerada como uma das disciplinas que mais exige abstração, já que para sua compreensão o estudante precisa transitar entre os três níveis representacionais: macroscópico, submicroscópico e simbólico. (GILBERT, 2010; GILBERT; TREAGUST, 2009). No entanto, muitos estudantes apresentam grande dificuldade em estabelecer, por meio

¹⁷ Modelagem 3D pode ser entendida a partir da adaptação do significado de modelagem escolar, como sendo um processo de construção de modelos 3D por meio do uso da impressora 3D. Sendo assim, consideramos o uso do termo modelagem 3D como sendo equivalente ao processo de elaboração dos modelos 3D (PÉREZ; GALINDO; GALLI, 2018).

de ideias, as relações entre os diferentes níveis do conhecimento químico, e, por este motivo, a compreensão dos aspectos submicroscópicos de fenômenos macroscópicos têm sido abordados pela Ciência Cognitiva como um dos grandes desafios para o ensino de Química (FERREIRA; ARROIO, 2013; GILBERT, 2005).

Na aprendizagem de Bioquímica essa realidade não é diferente, pois sua natureza complexa exige, além da abstração, a integração entre os conceitos da Química e da Biologia (BARBOSA et al., 2014; SCHIMIDT et al., 2014). Deste modo, é considerada uma área interdisciplinar presente diretamente na Química (ALCÂNTARA; MORAES FILHO, 2015).

A construção de representações internas (modelos mentais) e externas (modelos conceituais) para compreensão dos processos químicos pode ser considerada uma das principais dificuldades dos estudantes. Sendo assim, é fundamental a intervenção do professor, no sentido de ensinar e interpretar as representações visuais sobre o conteúdo trabalhado, já que sem o uso de representações internas e externas é impossível conduzir o processo de ensino e aprendizagem de Bioquímica (SCATIGNO; TORRES, 2016).

Outros trabalhos apontam as principais dificuldades dos estudantes em relação à compreensão conceitual e a visualização dos fenômenos bioquímicos, dentre estas dificuldades destacamos: a aprendizagem da estrutura das proteínas (ABUALIA et al., 2016; SPAN et al., 2013); e da interação enzima-substrato (LINENBERGER; BRETZ, 2014, 2015; SANGIOGO; ZANON, 2012).

Na perspectiva da presente pesquisa, o conceito de interação enzima-substrato é focalizado devido à complexidade conceitual envolvida na compreensão da natureza das interações químicas e da atividade das enzimas. Além disso, a interação enzima-substrato é um conceito fundamental para a Bioquímica. Entendemos, sob a perspectiva de Linenberger e Bretz (2015) que enzimas e substratos interagem por meio de ligações não covalentes (ligações de hidrogênio, interações eletrostáticas, hidrofóbicas e de van der Waals). Após a formação do complexo enzima-substrato as interações possibilitam o envolvimento do substrato pela enzima. Essa mudança conformacional ocorre na região do sítio ativo da enzima, rapidamente e com baixo custo energético. Quando o produto é formado, a enzima retorna à sua conformação inicial e o produto é liberado.

A compreensão desse conceito científico escolar exige do estudante conexões entre conhecimentos prévios existentes na sua estrutura cognitiva, com os diferentes modelos teóricos utilizados para explicar de que maneira essa interação ocorre (modelo chave-fechadura

ou ajuste induzido¹⁸), constituindo um obstáculo à aprendizagem. A abordagem Ausubeliana descreve sobre a importância do conhecimento prévio para aprendizagem significativa, de modo que as novas informações são incorporadas (ancoradas) aos conceitos relevantes presentes na estrutura cognitiva do aprendiz (CAKIR, 2008).

Para Bretz e Linenberger (2012) tais ideias prévias, a respeito da interação enzima-substrato, podem interferir no processo de aprendizagem de diferentes conteúdos, como exemplo as ligações intermoleculares e intramoleculares, a regulação do metabolismo, a transcrição e a tradução de proteínas. Cabe ao professor, como mediador, investigar os conhecimentos preexistentes na mente do aprendiz, de maneira a auxiliar o estudante a relacionar estas informações de forma significativa com a sua estrutura cognitiva, visando a construção do conhecimento.

O conceito de interação enzima-substrato é ensinado ao aluno inicialmente no ensino médio e, mais tarde, no nível superior ao longo dos cursos que possuem a disciplina de Bioquímica como componente curricular. Assim, o estudante pode construir diferentes ideias sobre as interações enzima-substrato e, muitas vezes, pode apresentar uma visão fragmentada e incoerente deste conceito (BRETZ; LINENBERGER, 2012). Essa visão fragmentada e incoerente pode ser o resultado de um processo de ensino pautado em uma sequência de aulas e orientado por um material didático que não possibilita relações entre os conceitos centrais e muitas vezes contribui para a construção de ideias incorretas, como exemplo o uso do modelo chave-fechadura. Portanto, a dificuldade dos estudantes em fazer correlações entre os conceitos básicos e construir conhecimento, sobretudo o conteúdo que envolve a atividade das enzimas, pode estar relacionada com a maneira linear e fragmentada que, muitas vezes é ensinada pelos professores (SCALCO, 2018; SANGIOGO; ZANON, 2012).

Entretanto, existe uma grande variedade de conceitos envolvidos na compreensão do conceito de interação enzima-substrato, que devem ser considerados durante a explicação desta temática. Os conceitos fundamentais estão classificados em dois diferentes fatores: (i) internos ou não observáveis, como a composição estrutural das proteínas/enzimas, o conceito de enzimas, os tipos de interações químicas, (por exemplo, as interações hidrofóbicas e hidrofílicas, responsáveis pela atividade enzimática em meio aquoso); e (ii) os fatores externos ou observáveis que podem alterar a atividade biológica, por exemplo, o pH e a temperatura. Além disso, explicar o mecanismo de ação das enzimas, especificamente no organismo humano, pode possibilitar discussões sobre a compreensão da interação entre a enzima e o

¹⁸ Linenberger e Bretz (2015) apontam que o modelo científico que melhor representa a interação enzima-substrato seja o modelo de ajuste induzido incorporado à compreensão do estado de transição.

substrato. Uma possibilidade seria citar exemplos de enzimas que atuam em meio biológico, como é o caso da quimotripsina (SANGIOGO; ZANON, 2012).

Em relação ao recurso didático utilizado para explicar o conceito de interação enzima-substrato, estudos evidenciam que representações visuais do modelo chave-fechadura de livros didáticos são amplamente utilizadas pelos professores (SANGIOGO; ZANON, 2012). É importante ressaltar que o livro didático (LD) é considerado um dos instrumentos mais utilizados na sala de aula, os quais possuem conhecimentos organizados, sob a forma de textos escritos, imagens ou gráficos utilizados como recursos no processo de ensino e aprendizagem (SCALCO; CORDEIRO; KIILL, 2014).

Nesse sentido, Sangiogo e Zanon (2012) discutem sobre as potencialidades e limitações conceituais em relação ao uso de algumas representações da interação enzima-substrato em livros didáticos (LD) do ensino médio e ensino superior. Os autores afirmam que os LD podem dificultar a aprendizagem e a construção de ideias referente à compreensão de conceitos científicos escolares, se não utilizar de linguagens fundamentais aos processos de generalização e abstração, como, por exemplo, o modelo chave-fechadura, que representa equivocadamente as interações químicas entre a enzima e o substrato.

Marzzoco e Torres (2007, p. 58) afirmam que a representação da interação enzima-substrato não deve ser compreendida como um “modelo rígido de chave-fechadura”. Pelo contrário, o modelo chave-fechadura serve apenas de exemplo de especificidade de uma enzima pelo seu substrato, entretanto, não aborda toda a complexidade da interação durante a atividade enzimática. Sendo assim, é importante que o estudante compreenda que a interação do substrato no sítio ativo da enzima provoca uma mudança conformacional da enzima.

Para Sangiogo e Zanon (2012, p. 32) “a compreensão conceitual da ação enzimática vai muito além dos conteúdos escritos sob a forma de texto e/ou o que está representado nas figuras dos LD”. Estudos como este reforçam a importância da intervenção do professor em explicar, de forma coerente os aspectos do conhecimento químico necessários para o entendimento conceitual das representações em nível submicroscópico, e, em contrapartida, superar as dificuldades de compreensão do modelo teórico proposto pela ciência.

Por outro lado, ferramentas de visualização 2D e 3D, como, por exemplo, os softwares, animações e representações 2D e 3D, também são utilizadas para tal finalidade. Entretanto, é necessário considerar algumas implicações do uso dessas representações visuais, como o desenvolvimento de habilidades espaciais, metavisuais e representacionais (FERREIRA; ARROIO, 2013).

Neste sentido, para que o estudante compreenda corretamente as informações contidas nas visualizações é necessário que ele desenvolva capacidades metavisuais, as quais são: visualização espacial, orientação espacial e relação espacial. As habilidades espaciais incluem a capacidade de compreender tanto representações 3D com base em 2D, como representações 2D a partir de 3D. A orientação espacial é a capacidade de prever a representação 3D após um evento rotacional e a relação espacial é a capacidade visualizar os efeitos das operações de reflexão e inversão sobre a representação (FERREIRA; ARROIO, 2013; GILBERT, 2010).

Gilbert (2005) constata que o aprendiz consegue atribuir significado a uma visualização, caso conheça suas potencialidades e limitações, ou seja, quais elementos uma determinada representação, de fato, representa ou não. Além disso, o aprendiz deve reconhecer os códigos relacionados aos tipos de representações. Sendo assim, as habilidades metavisuais implicam na transição entre os três níveis do conhecimento químico (macroscópico, submicroscópico e simbólico) e ainda, possibilitam ao estudante transitar entre os diferentes modos de representação (concreto, verbal, visual e gestual) (FERREIRA; ARROIO, 2013). Com base no exposto, não se pode restringir a utilizar uma única forma de representação, uma vez que todas apresentam vantagens e desvantagens em relação ao processo de ensino e aprendizagem.

3 OBJETIVOS E QUESTÃO DE PESQUISA

Com base nos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa buscamos investigar alguns dos subsunçores preexistentes na estrutura cognitiva dos estudantes a respeito da interação enzima-substrato e compreender as percepções dos licenciandos sobre o uso de modelos 3D em atividades de modelagem para o ensino da interação enzima-substrato, bem como compreender as contribuições do uso de modelos 3D impressos para a aprendizagem do conceito proposto. Assim sendo, seguem o objetivo geral e os objetivos específicos que orientaram a investigação.

3.1 OBJETIVO GERAL

Compreender as contribuições do uso de modelos 3D para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato, na perspectiva dos estudantes do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Alfenas.

3.1.1 Objetivos Específicos

A presente investigação considerou três objetivos específicos, os quais são apresentados a seguir:

- a) investigar o conhecimento prévio dos estudantes do curso de Licenciatura em Química sobre o conceito de interação enzima-substrato por meio de desenhos, visando à elaboração de modelos 3D;
- b) compreender as perspectivas dos estudantes do curso de Licenciatura em Química a respeito do uso de modelos 3D impressos no ensino de Química;
- c) avaliar as contribuições dos modelos 3D impressos elaborados para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato, considerando o entendimento dos licenciandos em Química.

3.1.2 Questão de Pesquisa

A partir da relação entre o campo de observação e a variável a ser observada, evidenciamos a questão de pesquisa que orienta este estudo: “Quais os efeitos do uso dos modelos 3D na aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato, na perspectiva dos estudantes do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Alfenas?”

3.2 HIPÓTESE

A partir dos objetivos gerais, elaboramos a seguinte hipótese para esta investigação: “A construção dos modelos 3D impressos pelos licenciandos em Química pode contribuir para a aprendizagem significativa do conceito de interação enzima-substrato, de forma a possibilitar a relação entre os conceitos subsunçores prévios presentes na estrutura cognitiva dos estudantes com o conceito científico escolar proposto”.

4 METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada a abordagem metodológica que orientou o desenvolvimento desta investigação, considerando a questão de pesquisa, objetivos, hipótese, pressupostos da pesquisa, caracterização dos sujeitos e os instrumentos para geração das informações, bem como os procedimentos metodológicos adotados. Na sequência, abordaremos sobre o modelo de análise e interpretação dos dados.

4.1 PRESSUPOSTOS DA PESQUISA

A metodologia de pesquisa empregada no presente estudo apresenta uma abordagem qualitativa¹⁹, considerando que a mesma possibilita a investigação da subjetividade, da intencionalidade, da compreensão e da interpretação dos fenômenos envolvidos na construção dos significados por meio das ações e das relações humanas (MINAYO, 2009). A pesquisa qualitativa pode ser compreendida entre outros fatores pela proximidade do pesquisador com o objeto pesquisado, considerando seu contexto social, buscando produzir novas informações válidas e significativas (SANTOS FILHO; GAMBOA, 2007).

Esta é uma pesquisa de natureza aplicada²⁰, que visa contribuir para o ensino de Química e para a produção de novos conhecimentos por meio da modelagem. Em relação aos objetivos optamos pelo modelo de pesquisa exploratória²¹, que pode ser caracterizada pelo levantamento de informações sobre o tema de interesse do pesquisador ou pela entrevista com indivíduos que tiveram contato com o problema de pesquisa por meio de suas práticas cotidianas, focalizando a formulação do objeto de pesquisa ou das hipóteses (GERHARDT; SILVEIRA, 2009; SEVERINO, 2000).

A presente pesquisa foi conduzida após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UNIFAL-MG, (Protocolo N. 2.420.833), por meio do parecer consubstanciado emitido pelo CEP (Anexo A).

¹⁹ Entendemos, que a abordagem metodológica adotada na presente pesquisa pode ser compreendida como sendo uma metodologia qualitativa, já que possibilita compreender os fenômenos subjetivos por meio das ações e relações humanas (MINAYO, 2009).

²⁰ Natureza aplicada do ponto de vista de Severino (2000, p. 35) tem o objetivo de construir conhecimento para aplicação prática, “dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais”.

²¹ Ainda quanto aos objetivos, a pesquisa ou parte dela pode ser considerada como sendo descritiva pelo modo como o estudo descreveu os fatos e fenômenos sobre a realidade investigada. Contudo, a descrição dos fenômenos somente foi possível pela verificação por meio da observação à campo (SEVERINO, 2000).

4.1.1 Caracterização dos sujeitos da pesquisa

Participaram como sujeitos desta pesquisa quinze (15) estudantes do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Alfenas. A justificativa de escolha dos estudantes tem relação com o objetivo deste trabalho, o qual visou investigar o conhecimento prévio que os estudantes têm sobre o conceito de interação enzima-substrato, por meio de desenhos, que de forma consensual foram selecionados para elaboração dos modelos. Optamos em realizar esta investigação no ensino superior, especificamente, em uma turma de licenciandos em Química, considerando as possíveis contribuições na formação de professores.

Com relação à seleção dos participantes foram incluídos os sujeitos que tinham interesse em participar da pesquisa. Dessa forma, foram considerados alguns critérios de inclusão, como o de estarem regularmente matriculados no curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Alfenas e estarem cursando a disciplina Laboratório de Ensino de Química II. Consideramos como critério de exclusão o não interesse dos sujeitos em participar da pesquisa. Foram considerados como critérios de exclusão não estarem regularmente matriculado no curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Alfenas e não estarem cursando a disciplina Laboratório de Ensino de Química II. Levamos em consideração a equivalência entre conteúdo a ser pesquisado com conteúdo curricular da disciplina escolhida e a possível contribuição para o planejamento das práticas pedagógicas ao longo do estudo.

Realizamos a pesquisa com estudantes do 7º período, matriculados na disciplina Laboratório de Ensino de Química II, em razão do cronograma vigente do I semestre letivo do ano de 2018, que demarcou o início desta pesquisa. A estes estudantes foi apresentada a proposta da pesquisa, seus objetivos e fins, bem como, todas as orientações em relação à ética da pesquisa. Ao final, os estudantes receberam duas vias do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice C). Uma semana depois, os estudantes com interesse em participar, de forma voluntária e anônima, entregaram os termos assinados. Todos os estudantes convidados (15 no total) aceitaram participar da pesquisa. Uma via dos termos foi devolvida aos participantes e a segunda via foi guardada, sob a responsabilidade da pesquisadora e ficará arquivada por cinco anos, de acordo com as normas do Comitê de Ética em Pesquisa da UNIFAL (CEP) e do Conselho Nacional de Saúde (CNS) sob as resoluções nº 466/12 e nº 510/16.

Também optamos em realizar entrevistas com os estudantes, utilizando um roteiro de entrevista (Apêndice A). Primeiramente, os sujeitos foram convidados a participar da entrevista

e todos concordaram em participar desta atividade. Em seguida os sujeitos receberam o termo de autorização para gravação de voz (Apêndice C), o qual deixava claro as considerações éticas do presente instrumento. Os estudantes levaram o termo para casa e entregaram assinado antes do início das entrevistas.

Antes de iniciar a gravação da voz, foi realizada a identificação dos sujeitos (todos os participantes decidiram entre usar seu próprio nome ou um nome fictício, porém todos optaram por usar o próprio nome). Todos os estudantes foram orientados a respeito do sigilo de suas informações e para garantir a integridade dos mesmos foram utilizados códigos para a representação das falas dos estudantes (E1 até E15) e (P) da fala da pesquisadora.

Na turma pesquisada, os alunos tinham idade entre 20 e 25 anos. Além disso, certificamos que, do total de quinze (15) sujeitos, apenas um (1) relatou já ter cursado a disciplina de Bioquímica, quatro anos antes. Do restante, quatorze (14) sujeitos estavam cursando a disciplina de Bioquímica no primeiro semestre do ano de 2018, ou seja, durante o semestre que a pesquisa estava sendo realizada.

Este estudo foi conduzido no campus sede da Universidade Federal de Alfenas, localizada na Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700 – Centro, Alfenas – MG. A escolha deste local foi feita levando em consideração a facilidade de localização e contato com estudantes, sujeitos desta pesquisa. Todas as atividades da pesquisa foram realizadas na sala 204, bloco PCA, durante as aulas da disciplina Laboratório de Ensino de Química II. As entrevistas foram realizadas no Laboratório de Pesquisa em Ensino de Química, localizado na sala 014, prédio V, desta universidade.

4.1.2 Descrição da pesquisa e dos instrumentos para geração de informações

Na presente pesquisa, foi realizado um trabalho de campo com o objetivo de conhecer o contexto social no qual os sujeitos estão inseridos. Minayo (2009) destaca a importância da observação participante na pesquisa qualitativa e a define como sendo um método em que o pesquisador pode imergir no ambiente a ser investigado tendo um papel de observador, com o objetivo de produzir as informações que possam auxiliar no entendimento do contexto social a ser pesquisado.

A observação em um contexto interno (escolas, laboratórios, salas de aula, dentre outros), de acordo com Vianna (2003) pode contribuir para a exatidão dos resultados na

pesquisa em educação e o aperfeiçoamento das observações semiestruturadas. Sendo assim, o campo de observação foi a sala 204, bloco PCA, onde ocorreram as aulas da disciplina de Laboratório de Ensino de Química II.

Para a realização do trabalho de campo foi utilizado como instrumento de geração de informações um diário de campo, também conhecido como diário de pesquisa. Este instrumento consiste no registro de observações pelo pesquisador sobre comentários e reflexões de observações dos fenômenos em relação ao que é vivido, como experiências individuais significativas, reflexões sobre a pesquisa, fatos sociais da realidade, entre outros (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

As informações contidas no diário de campo podem ainda contribuir para o entendimento sobre a prática de ensino do conteúdo e o processo de aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato por meio do uso de modelos 3D impressos. A relevância desta ferramenta teórica e prática tem relação com a percepção da complexidade dos participantes, que pode auxiliar na compreensão, análise e interpretação dos dados pautados nos referenciais teóricos (BARBOSA; HESS, 2010).

Inicialmente, para o levantamento do conhecimento prévio dos estudantes, bem como para a investigação das representações internas que os estudantes tinham, foi utilizado questionário semiestruturado. O questionário na pesquisa científica pode ser entendido como um conjunto de questões que podem fornecer dados que ajudam o pesquisador a alcançar os objetivos propostos (CHAGAS, 2000; GROppo; MARTINS, 2006).

Foram aplicados dois questionários individuais (inicial e final). O primeiro contemplou questões sobre o conhecimento prévio dos estudantes (subsunçores) a respeito da interação enzima-substrato, com o objetivo de investigar as dificuldades em relação à aprendizagem conceitual e possibilitar o planejamento da proposta de intervenção.

O questionário inicial (Apêndice B) foi respondido pelos estudantes após a regência da aula sobre o conteúdo de enzimas da disciplina de Bioquímica. Consideramos que seria uma investigação da aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato durante o processo de modelagem 3D e não uma investigação da intervenção didática do professor responsável pela disciplina de Bioquímica. Este questionário contemplou as seguintes questões: a. Como você entende o conceito de interação enzima-substrato?; b. Quais aspectos químicos interferem na interação enzima-substrato?; c. Como você explicaria a interação enzima-substrato pelo modelo “chave-fechadura”?; d. Como você explicaria a interação enzima-substrato pelo modelo “ajuste induzido”?.

Para obter uma análise mais consistente, as informações em relação às representações internas (modelos mentais) foram gerados em uma segunda atividade, que consistiu na elaboração de uma representação da interação enzima-substrato. A atividade apresentou a seguinte proposta: “Elabore um desenho que represente a interação que ocorre entre a enzima e o substrato. Sua representação é livre. Use sua criatividade”. É importante destacar que esta atividade foi realizada depois da aula do conteúdo “enzimas” da disciplina de Bioquímica.

Após a geração das informações, os estudantes foram organizados em pequenos grupos (5 grupos com 3 estudantes em cada), para que fossem escolhidos os desenhos para elaboração dos modelos 3D, visando a utilização do mesmo para a aprendizagem do conteúdo. Dessa forma, cada grupo, em consenso, fez a escolha de um desenho. Optamos por realizar esta atividade, em grupo, em razão da economia do material para impressão dos modelos. Apoiamos esta proposta em estudos, como de Justi (2006, 2010) que descrevem que a elaboração dos modelos pode ser realizada tanto individualmente como em grupos.

Além do uso do questionário para a geração das informações, optamos pela utilização de entrevista semiestruturada, com o objetivo de obter a explicação dos desenhos elaborados pelos estudantes. A entrevista semiestruturada pode ser entendida como uma interação humana que acontece entre o pesquisador e o entrevistado, na qual podem ser obtidas informações sobre um assunto de interesse na pesquisa. Este tipo de instrumento geralmente é utilizado para investigar assuntos complexos e subjetivos, como opiniões, formas de pensamento, atitudes e valores (SZYMANSKI; ALMEIDA; PRANDINI, 2004).

Considerando que utilizamos um roteiro de entrevista semiestruturada individual (Apêndice A), as questões direcionadoras foram: a. Por que você considera que este desenho representa a interação enzima-substrato?; b. Que perspectivas você considerou para elaborar esta representação? Por exemplo: ao elaborar a representação (desenho) você considerou a perspectiva tridimensional?; c. Quais aspectos do conhecimento químico você considerou para representar a interação enzima-substrato?; d. Você pensou em algum exemplo para elaborar a representação? Qual (is)?; e. Você sentiu dificuldades durante a elaboração do desenho? Qual (is)?; f. Como você explicaria a interação enzima-substrato utilizando sua representação?; g. Como você explicaria a ocorrência deste fenômeno em meio biológico?; h. Na ocorrência deste fenômeno em meio biológico, qual (is) aspectos químicos você consideraria?; i. Você considera que seu desenho representa o que você pensa a respeito da interação enzima-substrato?; j. Como futuro professor, o que você considera em relação ao uso desta atividade de construção de representações 3D para o ensino de Química?.

Optamos pela entrevista semiestruturada pela flexibilidade de incluir questões ao roteiro inicial (Apêndice A) que fossem surgindo durante a entrevista, buscando aprofundar e gerar mais informações sobre o tema pesquisado. Durante a entrevista individual com os estudantes foram investigados, através da observação e explicação dos próprios desenhos, os conceitos subsunçores, as dificuldades de aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato, possíveis equívocos e perspectivas em relação à elaboração e ao uso dos modelos tridimensionais no ensino de Química. Entendemos que a entrevista possibilitou a interpretação dos desenhos pelos próprios estudantes, evitando assim, possíveis interferências do pesquisador na interpretação das informações.

Com o objetivo de ampliar a investigação das informações sobre a participação dos estudantes nas atividades de modelagem, também optamos por utilizar uma segunda atividade, a qual consistiu em um relato pessoal. Este relato tinha a seguinte proposta: “Faça um relato das suas impressões sobre o uso da impressora 3D para o ensino de Química”. O relato pessoal, de acordo com Groppo e Martins (2006) constitui de entrevistas, documentos escritos, audiovisuais, dentre outros sobre o sujeito. Entendemos que o objetivo do uso dos relatos pessoais seja obter informações sobre acontecimentos que interessam ao pesquisador, neste caso, a participação dos estudantes nas atividades de modelagem tridimensional (GROPPO; MARTINS, 2006).

Um questionário final também foi utilizado com o objetivo de analisar o processo de elaboração dos modelos 3D e buscar possíveis evidências de aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato. As questões propostas para o questionário final foram: a. Como você explicaria o fenômeno da interação enzima-substrato após ter participado do processo de construção do modelo concreto?; b. Quais aspectos químicos interferem na interação enzima-substrato?; c. Comente sobre o uso do modelo “chave-fechadura” para ensinar a interação enzima-substrato.; d. Comente sobre o uso do modelo “ajuste induzido” para ensinar a interação enzima-substrato.

Com o objetivo de analisar o tempo de retenção do conceito de interação na estrutura cognitiva dos estudantes, decidimos reaplicar o questionário final quatro meses após o encerramento das atividades de modelagem. As questões propostas para o questionário final de teste de retenção foram: a. Explique o conceito de interação enzima-substrato.; b. Há aspectos químicos que interferem na interação enzima-substrato? Comente.; c. Comente sobre o uso do modelo “chave-fechadura” para ensinar a interação enzima-substrato.; d. Comente sobre o uso do modelo “ajuste induzido” para ensinar a interação enzima-substrato. Ainda no questionário de teste de retenção pedimos que os estudantes respondessem a uma quinta pergunta: e.

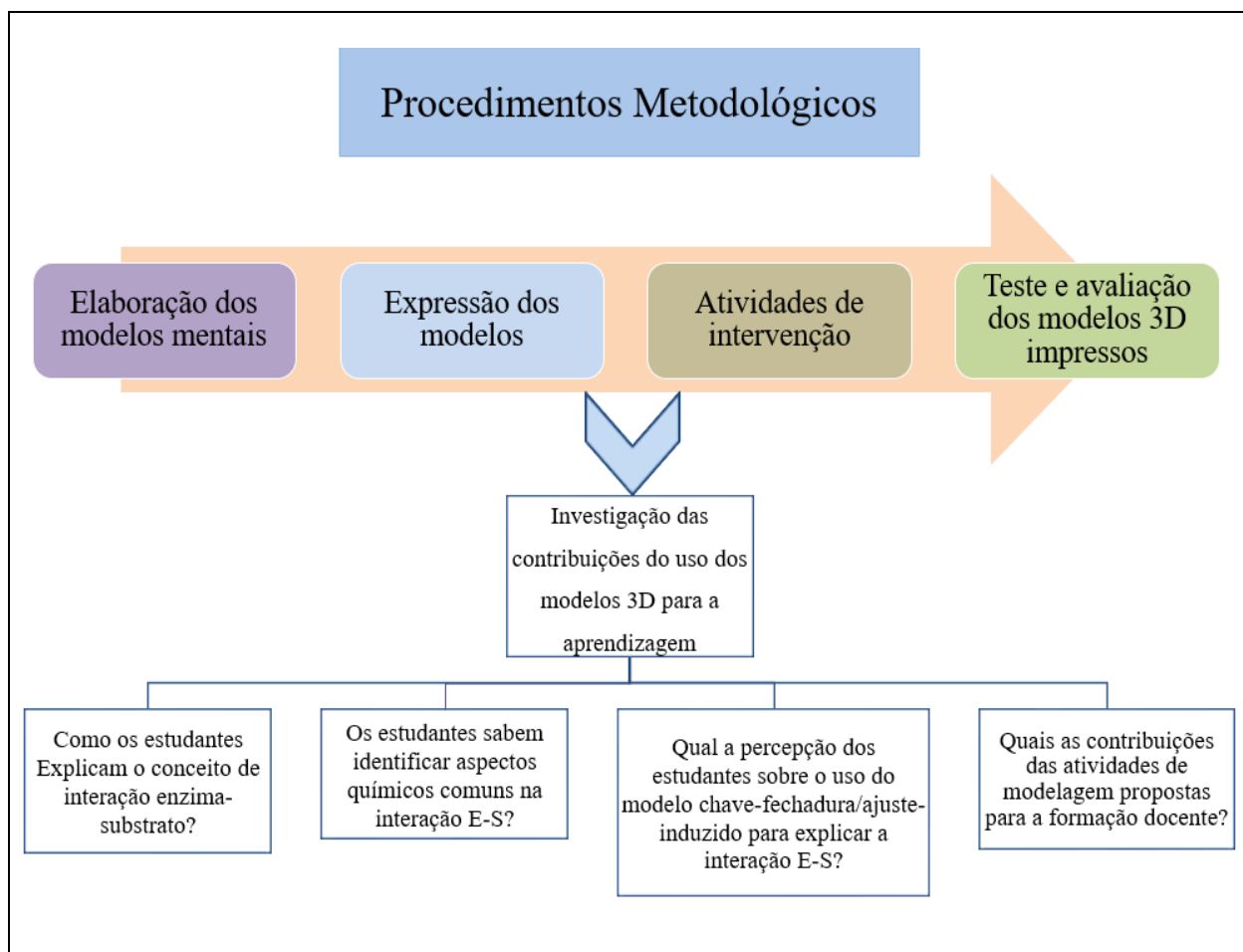
considerando o trecho do livro *Química Cidadã*, o que você, como futuro professor, pode comentar sobre o uso da representação (modelo chave-fechadura) para explicar a ação dos medicamentos em nosso organismo? Essa pergunta foi realizada com o objetivo de levantar informações sobre o ponto de vista dos licenciandos a respeito do uso de imagens dos livros didáticos do modelo chave-fechadura quatro meses após a participação nas atividades de modelagem 3D.

Portanto, o objetivo principal da escolha destes instrumentos foi contribuir para responder a questão de pesquisa proposta inicialmente, no sentido de relacionar os resultados com os referenciais teóricos disponíveis na literatura e possibilitar a construção de conhecimento por meio da pesquisa.

4.2 Procedimentos Metodológicos

O planejamento das etapas da pesquisa, bem como a construção dos modelos, seguiu a perspectiva dos autores apresentados no referencial teórico. Dessa forma, buscamos realizar as etapas da modelagem propostas por Justi (2006, 2015). Além disso, buscamos elaborar as atividades de modelagem com base nos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Diante dos objetivos e hipóteses que fundamentam esta pesquisa, foram planejadas as etapas que antecedem a análise e validação da pesquisa, sendo elas: (I) elaboração; (II) expressão; (III) atividades de intervenção; e (IV) teste e avaliação dos modelos 3D, as quais estão identificadas no esquema apresentado na Figura 4:

Figura 4 – Esquema das etapas realizadas para construção dos modelos 3D



Fonte: da autora.

4.2.1 Etapas de construção dos modelos 3D

As etapas fundamentais do processo de modelagem tridimensional adaptadas a partir da modelagem científica são descritas a seguir:

I – Elaboração dos modelos mentais

Nesta etapa foi realizada uma atividade para levantar informações sobre o conhecimento prévio dos estudantes a respeito do conceito de interação enzima-substrato. A atividade foi conduzida por meio de questionário e elaboração de desenhos. Após a elaboração dos desenhos, os estudantes formaram cinco grupos e os membros de cada grupo escolheram

consensualmente, um desenho que consideraram que melhor representava a interação enzima-substrato. O objetivo de tal atividade foi investigar o entendimento dos estudantes a respeito do conceito de interação enzima-substrato. Além disso, foi valorizar o trabalho coletivo, de modo a favorecer a construção/reelaboração das ideias expressas no modelo individual, a partir da socialização dos modelos com os membros do grupo. Nesta etapa participaram os 15 estudantes matriculados no curso de Licenciatura em Química da UNIFAL-MG. Tanto os questionários como os desenhos foram realizados individualmente. A escolha dos desenhos foi realizada em grupo.

II – Expressão dos modelos

Os modelos 3D foram elaborados a partir dos desenhos escolhidos pelos grupos de estudantes. Este material foi elaborado pela pesquisadora com o objetivo de criar um modelo concreto de representação da interação enzima-substrato, visando auxiliar o estudante a compreender os conceitos que explicam as interações entre a enzima e o substrato. Para a elaboração dos modelos foi utilizado o software AutoCad®, o qual foi utilizado para a impressão dos modelos 3D. A impressora utilizada foi a Cube 3D Printer pertencente à Universidade Federal de Alfenas, mantida pela instituição na sala 014, Bloco V.

III – Atividades de intervenção

As atividades de intervenção (Apêndice D) foram planejadas a partir dos resultados das análises prévias dos questionários e entrevistas com os estudantes, sob a supervisão do professor da disciplina de Bioquímica. As atividades de intervenção foram acompanhadas pela professora orientadora da pesquisa e também responsável pela disciplina de Laboratório de Ensino de Química II. Cada intervenção teve duração de aproximadamente 1h40min e no total foram realizadas cinco intervenções. As atividades de intervenção foram gravadas e transcritas para o diário de campo.

Intervenção 1

A atividade de intervenção foi fundamentada na abordagem da Teoria Ausubeliana, apresentadas na revisão de literatura da pesquisadora. Além disso, o planejamento foi realizado seguindo sugestões do professor responsável pela disciplina de Bioquímica. O objetivo desta

intervenção foi possibilitar a aprendizagem significativa por meio da relação entre os conceitos fundamentais sobre a interação enzima-substrato com subsunçores necessários para construir as pontes cognitivas que levam à aprendizagem significativa da interação enzima-substrato. Além disso, possibilitar o estudante transitar entre os níveis do conhecimento químico, em especial o nível submicroscópico (nível atômico-molecular) através de representações 2D e 3D, buscando conduzir o estudante a repensar o modelo elaborado inicialmente.

Em um primeiro momento discutimos “O que são enzimas?”, bem como sua composição estrutural. Em seguida, discutimos: “O que são substratos?”, “O que são produtos?”, “O que é interação enzima-substrato?”, “Quais são as funções das enzimas?” e “Onde as enzimas estão presentes?”. Apresentamos no Apêndice D um quadro com exemplos de enzimas que atuam na digestão dos alimentos e nas indústrias químicas e destacamos que independentemente do local de ação, determinados elementos químicos estão presentes em qualquer interação entre enzima e substrato, especialmente as interações químicas e a mudança conformacional no sítio ativo da enzima. Explicamos um exemplo de mecanismo de ação enzimática e iniciamos o uso dos recursos digitais de aprendizagem.

Para a realização desta atividade utilizamos representações 2D de livros didáticos, representações em 3D de enzimas, por meio do uso do software PDB (Protein Data Bank) e do uso dos softwares: Estudo interativo da estrutura e função de proteínas (SAKABE; MARSON; TORRES, 2006); Enzyme (GALEMBECK; PEDROSO FILHO, 2007) e A cinética da reação enzimática (GALEMBECK; PEDROSO FILHO; TORRES, 2007).

O objetivo foi apresentar imagens em 3D, obtidas por meio de cristalografia de raio-X, através do banco de dados PDB, o qual possibilitou visualizar as representações da estrutura das enzimas, rotacionar e identificar os aminoácidos que compõem a estrutura. Dessa forma, foi possível visualizar as representações de enzimas de diversos organismos desde bactérias, fungos, até às próprias plantas e organismo humano. O uso dos softwares educacionais livres teve como objetivo possibilitar a participação dos estudantes na simulação de um experimento para explorar a função/ estrutura das enzimas, bem como identificar os fatores que alteravam a atividade enzimática (pH, temperatura, concentração de substrato). Participaram desta etapa de intervenção os 15 estudantes matriculados no curso de Licenciatura em Química da UNIFAL-MG.

Intervenção 2

O objetivo foi possibilitar a aprendizagem conceitual, através da identificação de elementos característicos comuns pertencentes aos conceitos. Neste caso, os estudantes deveriam compreender que, em diferentes situações nas quais ocorre a interação entre a enzima e o substrato (mecanismos de ação das enzimas), há elementos comuns a todas as situações. Estes elementos comuns seriam: os mais gerais (interações químicas, especificidade, presença de sítio ativo, mudança conformacional, atividade cíclica da enzima e transformações químicas) e aqueles mais específicos (formação de intermediários instáveis, rompimento de ligações químicas, dentre outros).

Para a realização desta atividade utilizamos três diferentes representações de mecanismos de ação de enzimas, que foram distribuídas para discussão e identificação de elementos comuns nas três representações entre os membros do grupo. Os mecanismos de ação das enzimas utilizados foram: das lipases proposto por Vaz e Choupina (2012), da quimotripsina, descrito por Zangiogo e Zanon (2012) e das proteases virais elaborado por Muri (2014). Em seguida, os modelos 3D impressos elaborados pelos estudantes foram apresentados aos grupos para discussão para que pudessem comparar os elementos característicos comuns entre os seus modelos 3D impressos com os modelos cientificamente aceitos, neste caso, as representações dos mecanismos de ação enzimática.

No segundo momento da intervenção, a partir do modelo 3D elaborado inicialmente, os estudantes revisaram e reelaboraram seu modelo inicial. Primeiramente os estudantes elaboram as representações (desenhos) individualmente e, em seguida, se reúnem em grupos (mesmo grupo da etapa de elaboração inicial) para escolherem em consenso um desenho. Todos os grupos comunicaram os desenhos escolhidos e justificaram suas escolhas. Os grupos foram formados por um, dois ou três estudantes cada, no total foram formados cinco grupos. Alguns grupos não tinham três membros em razão da ausência de cinco estudantes. Esta etapa da intervenção foi realizada, excepcionalmente, em horário extraturno, no Laboratório de Ensino de Química, sala 212, prédio V, por questões de disponibilidade de horário. Participaram desta etapa de intervenção 10 estudantes matriculados no curso de Licenciatura em Química da UNIFAL-MG.

Intervenção 3

No primeiro momento foram retomados os conceitos comuns em qualquer mecanismo de ação enzima-substrato, sobretudo o conceito de mudança conformacional, o qual os estudantes apresentaram maior dificuldade na elaboração do desenho, durante a intervenção II.

Em seguida, foram discutidos os conceitos de modelos e modelagem, a fim de situar os estudantes nas etapas da modelagem e possibilitar repensar as suas implicações para a formação docente.

No segundo momento da intervenção, os modelos 3D impressos elaborados foram apresentados aos estudantes para discussão sobre as suas limitações. Em seguida, foi realizada uma discussão a respeito das limitações dos livros didáticos para o ensino do conceito de interação enzima-substrato. Uma das questões utilizadas para esta reflexão foi: “O modelo chave-fechadura representa toda a complexidade da interação entre a enzima e o substrato?”. Fundamentamos esta ideia na perspectiva de Sangiogo e Zanon (2012, p. 31-32) que afirmam que “o modelo chave-fechadura não aborda toda a complexidade da interação enzimática”.

Por último, foi apresentada a evolução histórica dos modelos (modelo chave-fechadura e modelo ajuste induzido). O principal objetivo desta etapa foi de discutir sobre a diferença dos dois modelos e apresentar o modelo aceito atualmente pela Ciência para explicar a interação enzima-substrato. Entre as argumentações favoráveis ao uso do modelo de ajuste induzido em detrimento ao modelo chave-fechadura, é que o professor pode explicar a mudança conformacional da enzima, a especificidade da enzima pelo substrato e pode ajudar a superar a ideia de um processo estático, que ocorre por meio de um encaixe físico, mecânico.

Outra abordagem apresentada foi a possível aplicação do modelo 3D elaborado, sob a perspectiva de Marzzoco e Torres (2007, p. 58), que afirmam que o modelo chave-fechadura (modelos expressos pelos estudantes) “exemplifica a especificidade de uma enzima pelo seu substrato, mas não explica toda a complexidade da relação estabelecida entre eles durante a catálise”. Participaram desta etapa de intervenção 14 dos estudantes matriculados no curso de Licenciatura em Química da UNIFAL-MG.

Intervenção 4

Esta atividade foi proposta a partir de sugestões dos próprios estudantes sobre as possíveis adaptações nos modelos, durante a reelaboração dos desenhos realizadas na intervenção II. A ideia dos estudantes também foi observada nos desenhos, os quais identificaram o uso de etiquetas de papel de diferentes cores ou imãs. Além disso, o professor da disciplina de Bioquímica também havia sugerido o uso de imãs nos modelos, como possibilidade de representar as interações eletrostáticas.

Para a realização desta atividade foram disponibilizados aos estudantes diferentes materiais para a reelaboração dos modelos concretos, como cartolinas, papel de seda, papel Eva,

ímãs, tintas, cola quente, tesoura, pincéis, etc. No final da atividade, um grupo, por vez, foi chamado para explicar o conceito de interação enzima-substrato utilizando o modelo 3D reelaborado. Para a realização desta atividade foi proposto o seguinte questionamento: a. “Supondo que vocês são os professores e o conteúdo que será ensinado é a interação enzima-substrato e o recurso didático é o modelo 3D elaborado, como seria a explicação para a interação enzima-substrato?”. A explicação dos estudantes foi gravada e transcrita para o diário de campo. Participaram desta etapa de intervenção 15 estudantes matriculados no curso de Licenciatura em Química da UNIFAL.

Intervenção 5

No primeiro momento foram retomados os conceitos comuns a qualquer mecanismo de ação enzima-substrato. Em seguida, foi retomada a discussão sobre o modelo de ajuste induzido, já que, durante a intervenção IV, dois grupos apresentaram dificuldade de compreensão desse modelo. Dentre os assuntos abordados podemos citar: “por que, quando e como” utilizar o modelo de ajuste induzido para ensinar. Aos estudantes foi apresentado o modelo 3D impresso de ajuste induzido, o qual foi elaborado com base no desenho proposto por Linenberger e Bretz (2015). Na sequência, foram discutidos os elementos comuns²² do modelo concreto de ajuste induzido, bem como os elementos não codificados no modelo concreto que poderiam ser adaptados, como por exemplo, o uso de etiquetas ou ímãs para representar as interações químicas. Quatro estudantes (E10; E13; E14 e E15)²³ não estavam presentes na aula.

No segundo momento da intervenção, os modelos 3D impressos reelaborados foram utilizados pelos estudantes para discussão das limitações dos modelos concretos e modelos concretos mistos. Em seguida, foram comparados os elementos comuns nos modelos 3D impressos reelaborados com o modelo cientificamente aceito. Foram discutidas as seguintes questões: a. Qual (is) modelos poderiam ser utilizados para ensinar o conceito de interação E-S?; b. Qual a limitação, pensando no ensino, do uso dos modelos concretos reelaborados?; c. Qual (is) foram as contribuições dos modelos 3D para a aprendizagem do conceito de interação E-S e de outros conceitos?; d. Qual (is) foram as contribuições da participação nas atividades

²² Os elementos comuns ou elementos codificados se referem aos aspectos químicos presentes em qualquer mecanismo de ação enzimática segundo Sangiogo e Zanon (2012). Neste estudo seis elementos foram analisados (especificidade, presença de sítio ativo, interações químicas, mudança conformacional, transformações químicas e atividade cíclica da enzima).

²³ A identificação dos quinze licenciandos foi realizada por meio do uso dos códigos (E1 até E15).

de modelagem para formação docente? Participaram desta etapa de intervenção 11 estudantes matriculados no curso de Licenciatura em Química da UNIFAL.

IV – Teste e avaliação dos modelos 3D impressos

Nesta etapa as representações elaboradas (desenhos) foram apresentadas aos estudantes e, no decorrer das atividades, os estudantes elaboram e comunicaram aos membros do grupo o seu modelo mental. Em seguida, os grupos interagiram de forma dinâmica com toda a turma e apresentaram as similaridades e contradições do modelo expresso consensuado pelo grupo com o modelo cientificamente aceito. Ao final, foi realizada uma discussão e socialização dos modelos envolvendo todos os estudantes.

O objetivo desta atividade foi possibilitar a compreensão conceitual, por meio da identificação de elementos comuns entre os modelos mentais expressos (desenhos) reelaborados e o modelo cientificamente aceito. Esta atividade foi realizada com base na discussão e análise prévia dos desenhos reelaborados com seus elementos comuns codificados ou não nos desenhos. Todos os estudantes argumentaram sobre seus desenhos, bem como os desenhos dos outros grupos. A realização desta etapa possibilitou discutir sobre os modelos mentais reelaborados, nas seguintes questões: a. Qual representação se aproximou mais do modelo de ajuste induzido?; b. Qual (is) os elementos (aspectos químicos) que mais apareceram nas representações?; c. Qual (is) elementos (aspectos químicos) que estavam faltando nas representações?; d. Qual a limitação, pensando no ensino, do uso do modelo chave-fechadura?.

Os dados referentes a esta etapa foram gerados da seguinte forma: a pesquisadora havia preparado anteriormente uma apresentação em Power Point com as fotos dos modelos e os elementos em comum identificados à priori. Em seguida, os estudantes argumentavam sobre as possíveis limitações dos modelos e também contra argumentavam sobre os elementos comuns percebidos pela pesquisadora. Nesse momento, os estudantes explicavam como pensavam os aspectos químicos comuns em suas representações e as limitações dos modelos.

Os testes foram realizados com base na comparação dos elementos comuns dos modelos 3D impressos com o modelo cientificamente aceito. Os testes dos modelos expressos foram realizados, de forma empírica²⁴, por meio da interação entre os grupos e a pesquisadora. A etapa de avaliação dos modelos 3D impressos buscou identificar as abrangências e limitações do modelo, com base na avaliação da coerência entre o modelo com seus objetivos, no sentido

²⁴ Além do diário de campo, também optamos pela gravação de vídeo desta atividade para orientar a validação dos resultados em relação a identificação dos elementos comuns nos desenhos pela pesquisadora.

de possibilitar ao estudante a utilização do modelo em outros contextos. Participaram desta etapa da pesquisa 14 estudantes matriculados no curso de Licenciatura em Química da UNIFAL.

4.2.2 Investigação das contribuições do uso dos modelos 3D para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato

Esta etapa ocorreu por meio de questionários e de um relato pessoal (Apêndice B) que visaram entender como o uso dos modelos 3D contribuiu para a aprendizagem do conceito da interação enzima-substrato. Além disso, esta etapa buscou investigar as perspectivas dos estudantes quanto a sua participação na reelaboração e no uso deste recurso de aprendizagem. Participaram desta etapa, os 15 estudantes matriculados no curso de Licenciatura em Química da UNIFAL, respondendo ao questionário e elaborando o relato pessoal.

4.2.3 Análise dos dados qualitativos obtidos

Com o objetivo de organizar e analisar as informações geradas nesta pesquisa foi utilizada a técnica de análise de conteúdo, descritas por Bardin (2011, p. 47) como:

um conjunto de métodos de análise das comunicações que visam a obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção e recepção dessas mensagens.

Entre os modelos de análise de conteúdo, optamos pelo uso da análise temática, a qual é estabelecida por meio da identificação de núcleos de sentido que compõem a comunicação e que, sua presença ou frequência pode ter algum significado para o objetivo que se propõe (MINAYO, 2009).

Para Gerhardt e Silveira (2009) a análise temática em investigações qualitativas realiza-se em três fases: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados. A pré-análise consiste na organização do material analisado e na exploração do mesmo por meio de leituras. A exploração do material baseia-se na codificação das informações, que envolve a seleção de

características relevantes para a resposta à questão de pesquisa. Dentro deste modelo as informações geradas poderão ser organizadas em categorias ou subcategorias de análise, de modo a facilitar a discussão e compreensão dos dados. O tratamento dos resultados está relacionado com a interpretação das informações obtidas pelo pesquisador, buscando a reflexão e análise dos dados fundamentados em referenciais teóricos.

Diante disso, as informações obtidas a partir dos questionários, das entrevistas e dos relatos pessoais foram analisadas de acordo com categorias construídas a partir do uso do método de análise de conteúdo. Estas categorias foram elaboradas levando em consideração algumas inferências levantadas em decorrência das transcrições e a seleção dos trechos das entrevistas, que orientaram a investigação deste estudo.

4.2.4 Validação da pesquisa

Fundamentamos a validação dos dados nos estudos de Creswell (2014) e optamos em realizar nesta investigação a validação consensual²⁵ e a triangulação²⁶. De acordo com Eisner (1991) a validação consensual busca uma “concordância” entre outras pessoas capacitadas para julgar se estão corretas: “a descrição, interpretação, avaliação e temática de uma situação educacional” (EISNER, 1991, apud CRESWELL, 2014, p. 194).

A etapa de validação consensual foi realizada com base em encontros individuais, entre a pesquisadora e cada validador (um por vez). Após a validação, conforme necessário ou sugerido pelos especialistas, os instrumentos foram reestruturados, por meio da refutação das informações entre os validadores. Além disso, as atividades de intervenção, bem como as categorias obtidas foram também validadas pelos membros do grupo de pesquisa em Educação Química da UNIFAL.

O objetivo desta etapa foi verificar a concordância nas categorizações estabelecidas durante a análise e os seus resultados, a fim de estabelecer a confiabilidade e a fidedignidade da pesquisa. Três (3) professores pesquisadores aceitaram ser voluntários dessa pesquisa e validaram os questionários, roteiro de entrevistas, bem como todas as propostas de atividades

²⁵ Eisner (1991) considera quatro diferentes perspectivas para o julgamento da credibilidade da pesquisa qualitativa: “corroboração estrutural, validação consensual, adequação referencial e validade irônica” (EISNER (1991), apud CRESWELL, 2014, p. 194).

²⁶ Lather reconceitualiza o termo “validação” no estudo de Smart (1991) e considera a triangulação como um dos quatro tipos de validação na pesquisa qualitativa (GETTING SMART (1991), apud CRESWELL, 2014, p. 195).

da presente pesquisa. Além disso, estes professores acompanharam todas as etapas realizadas e as análises prévias dos resultados obtidos. Estes professores também assinaram o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) e foram garantidos quanto ao sigilo de suas informações.

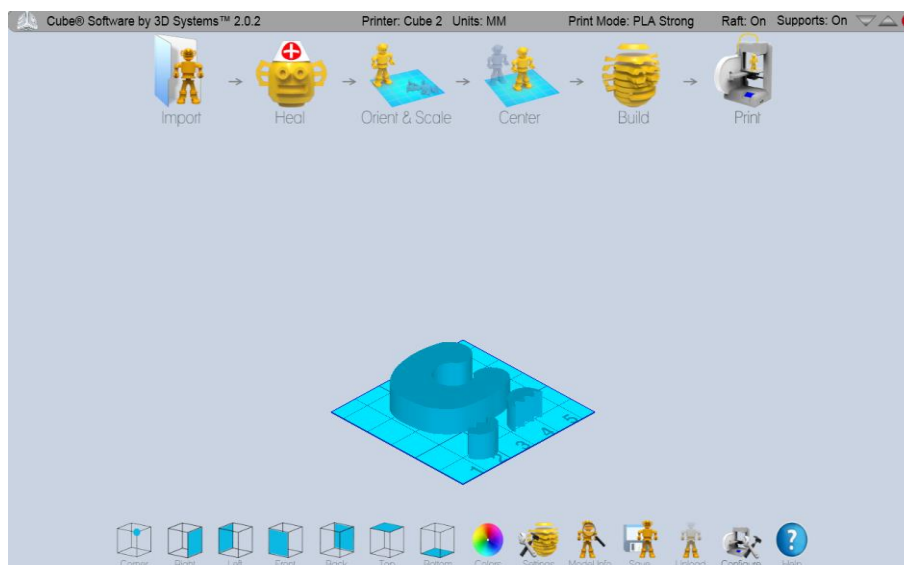
Para assegurar a confiabilidade e a relevância da análise dos dados, optamos pelo método de triangulação, descrito por Flick (2009), considerando que o mesmo busca combinar diferentes técnicas interpretativas e diminuir as limitações do uso de um único método na pesquisa qualitativa. A etapa de triangulação foi realizada por meio do cruzamento das informações que foram obtidas através das gravações, transcrições e interpretações das entrevistas semiestruturadas e relatos pessoais dos estudantes, pela interpretação e elaboração de categorias de significado das respostas dos questionários dos estudantes (representações e significação de desenhos).

4.2.5 Procedimentos metodológicos para elaboração dos modelos 3D

Utilizamos nesta pesquisa o software AutoCad® 2018, versão em inglês e português, gratuita para professores e estudantes, disponibilizado pela Autodesk. A licença foi obtida pela pesquisadora por um período de três (3) anos, a partir do início da realização da pesquisa e o número de registro do software instalado é: 901-01933918. Optamos pelo uso do software AutoCad®, em razão da compatibilidade do formato de arquivo stl (stereolithography) gerado pelo programa com o formato de arquivo necessário para a impressão.

Para a importação dos arquivos em stl para a impressora 3D, utilizamos o software 3D Cube® Creativity Relmaged, o qual foi instalado no computador da pesquisadora por técnicos do Núcleo de Tecnologia de Informação (NTI) da UNIFAL-MG. Apresentamos na Figura 5 a representação da tela inicial do software 3D Cube® Creativity Relmaged.

Figura 5 – Tela inicial do software 3D Cube® Creativity Relmaged



Fonte: extraído do software 3D Cube® Creativity Relmaged.

4.2.6 Comandos para elaboração dos desenhos 3D

Primeiramente foi realizada a configuração do template do software AutoCad® para o modo “3D modeling”. O passo inicial consistiu na especificação da unidade adequada ao programa de impressão (milímetros), neste caso, as medidas exatas da plataforma (base) dos desenhos não poderiam ultrapassar 140 x 140 mm. Além disso, os modelos foram desenhados com altura máxima de 2 cm e, aproximadamente, 8 cm de largura e 8 cm de comprimento. É importante destacar que as medidas, por exemplo, a altura e o comprimento, podem variar, de acordo com o interesse do estudo e da disponibilidade de material. Assim, quanto maior for o tamanho da peça, maior será o gasto do material de impressão.

Em seguida, foi utilizado o comando “Line” para elaboração dos desenhos. Após a elaboração dos desenhos, todas as linhas devem estar unidas, para isso, foi utilizado o comando “Join”. Para os desenhos de formato não uniforme ou curvo, o comando “Splini” foi utilizado. Este comando possibilita a elaboração de diferentes formas de desenhos.

O próximo passo consistiu na alteração do desenho para o modo 3D, através do comando de “Extrusão”. O comando “Shade” possibilitou o preenchimento sólido do desenho. Destacamos que, a realização destas etapas pode contribuir para a qualidade da impressão. Por último, o desenho foi salvo em um formato de arquivo stl.

4.2.7 Comandos para impressão dos desenhos 3D

O primeiro passo consistiu na conexão de rede do computador à impressora e na importação do arquivo desejado para o software 3D Cube® Creativity ReImagined. Para iniciar a impressão, foram selecionados, em sequência, os seguintes comandos: Heal, Orient & Scale, Center, Build e Print, respectivamente. Estes comandos realizam os ajustes finais do desenho, antes da impressão. O comando “Center”, por exemplo, certifica que o desenho está centralizado; o comando “Build” faz o desenho ficar em “fatias”, para que, posteriormente, seja reconhecido pelo mecanismo de impressão em camadas; o comando “Orient & Scale” oferece as opções de orientação e escala do desenho (dimensões x, y e z). Por fim, ao clicar no comando “Print” a impressão foi iniciada. Em média, a duração de tempo para as impressões dos modelos foi de 1 a 4 horas, dependendo das dimensões de tamanho.

Este modelo de impressora funciona por meio de um mecanismo no qual o filamento de plástico é depositado na superfície do vidro, através de sucessivas camadas do filamento. Esta deposição acontece devido ao aquecimento do filamento de plástico no jato de impressão até atingir a temperatura que o plástico pode ser derretido. É importante manter certa distância da base de impressão e não tocar no equipamento, já que a temperatura de trabalho da impressora é relativamente alta (aproximadamente 200 °C) e, portanto, existe risco de queimadura. Inicialmente, é formada uma espécie de base, a qual serve de sustentação do modelo. Esta base pode ser removida após a impressão com o auxílio de uma pinça de metal.

Vale ressaltar que, antes de iniciar o procedimento de impressão, realizamos a preparação da base de impressão e a limpeza do cartucho da impressora. A preparação da base da impressora consiste em “espalhar” um gel na superfície onde o modelo será impresso, o mesmo serve para proteção térmica da superfície de vidro e facilita a remoção das peças da base após a impressão. Já a limpeza dos cartuchos, precisa ser realizada antes do início da impressão, uma vez ao dia de uso da impressora. Este procedimento retira restos de plástico do jato de impressão e evita o seu entupimento.

O procedimento de limpeza do cartucho segue o seguinte protocolo: selecionar as opções “Load cartridge” e “Is there filament present in the. Print Jet?”. Em seguida, o filamento em excesso pode ser retirado do topo do jato de impressão, com o auxílio de uma pinça de metal (“Pull Cube Tube cway from top of Print Jet” e “Pull filament out of Print Jet”). A opção “Remove used cartridge” permite com que o cartucho seja retirado e a opção “install cartridge” e “Thread new filament through Cube Tube” possibilita a reciclagem do filamento. Na

sequência, o novo filamento deve ser inserido e pressionado no jato de impressão, até o aquecimento e derretimento do plástico. Em poucos minutos o filamento é reciclado e, após este tempo, a impressão pode ser realizada.

Após terminar a impressão é necessário esperar cerca de 5 minutos para diminuir a temperatura e evitar riscos de acidentes. Em seguida, o modelo e a base de vidro devem ser imersos em uma bacia plástica com água quente, por um período de aproximadamente 10 minutos, até que seja possível desprender o modelo da base de vidro. Finalmente, o modelo está pronto para ser utilizado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção trataremos dos resultados das análises das informações geradas neste estudo, bem como das discussões dos resultados com base no referencial teórico proposto. A análise das informações obtidas foi realizada seguindo os procedimentos da pré-análise, exploração do material, tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

Sendo assim, as entrevistas e os questionários foram transcritos, buscando encontrar núcleos de sentido nas respostas dos estudantes, cuja, presença ou frequência, podem possibilitar ao pesquisador caracterizar melhor sua amostra. Este procedimento permitiu a categorização²⁷ das informações geradas e possibilitou realizar discussões e inferências de acordo com o referencial teórico adotado.

Em um primeiro momento, apresentaremos as análises do questionário inicial, das entrevistas e dos modelos 3D elaborados. Em sequência, apresentaremos os resultados do questionário final, dos modelos 3D reelaborados durante a modelagem, bem como os relatos pessoais dos estudantes.

5.1 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO INICIAL

Buscamos, neste primeiro momento da pesquisa, informações sobre a organização da estrutura cognitiva dos estudantes, sobretudo, investigar alguns dos subsunçores desses estudantes. Dessa forma, aplicamos um questionário no início do semestre, antes de iniciar as atividades de modelagem. Para evitar possíveis interferências²⁸ os questionários foram aplicados após a aula da disciplina de Bioquímica sobre o conteúdo de enzimas que tratava do tema interação enzima-substrato.

Inicialmente realizamos uma pré-análise e exploração do material, buscando encontrar padrões de respostas dos estudantes, no sentido de contribuir para a investigação do conhecimento prévio dos estudantes a respeito da interação enzima-substrato. Além disso, a

²⁷ Entendemos que categorização seja um processo de obtenção das categorias de análise, a qual, consiste no agrupamento de elementos que apresentam características comuns (BARDIN, 2011).

²⁸ Uma das possíveis formas de evitar interferências em relação aos resultados da pesquisa foi a aplicação dos instrumentos de geração de informações após a regência da aula sobre enzimas pelo professor da disciplina de Bioquímica. Um questionário havia sido aplicado antes da aula de enzimas, entretanto, os mesmos foram desconsiderados e um novo questionário inicial foi aplicado.

partir da identificação da presença ou ausência de subsunções prévios sobre este conceito científico poderíamos planejar, caso necessário, as atividades de intervenções para o ensino e a aprendizagem desse conceito. Para esta análise, utilizamos algumas questões para o levantamento das hipóteses, tanto no questionário inicial, como no questionário final. Estas questões estão descritas a seguir:

1. Como os estudantes entendem o conceito de interação enzima-substrato?
2. Quais aspectos químicos os estudantes reconhecem na interação enzima-substrato?
3. Como os estudantes explicam a interação enzima substrato por meio do modelo chave-fechadura?
4. Como os estudantes explicam a interação enzima substrato por meio do modelo de ajuste induzido?

Neste contexto, pautamos no referencial da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2002), que constata sobre a importância de conhecer a estrutura cognitiva, bem como os conhecimentos prévios dos estudantes, para que, por meio das estratégias de ensino, o professor possa promover a ancoragem das novas informações com o conhecimento relevante preexistente na estrutura cognitiva do aprendiz, visando à aprendizagem significativa do conteúdo de interação enzima-substrato. O questionário inicial era composto de 4 questões e os objetivos de cada questão são apresentados na Quadro 1:

Quadro 1 – Questões do questionário inicial e seus respectivos objetivos

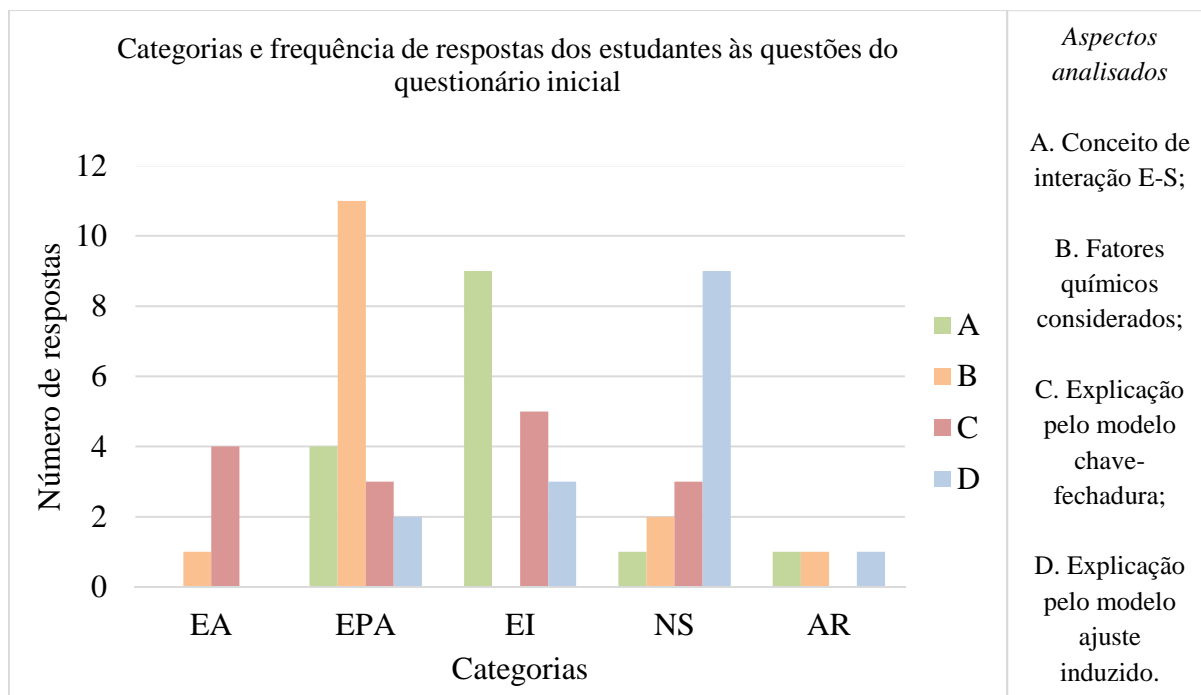
Questões	Objetivos
1. Como você entende o conceito de interação enzima-substrato?	1. Investigar se os estudantes entendem o conceito de interação enzima-substrato.
2. Quais aspectos químicos interferem na interação enzima-substrato?	2. Investigar se os estudantes conseguem identificar aspectos químicos comuns na interação enzima-substrato.
3. Como você explicaria a interação enzima-substrato pelo modelo “chave-fechadura”?	3. Investigar se os estudantes conseguem explicar a interação enzima-substrato por meio do modelo chave-fechadura.
4. Como você explicaria a interação enzima-substrato pelo modelo “ajuste induzido”?	4. Investigar se os estudantes conseguem explicar a interação enzima-substrato por meio do modelo ajuste induzido.

Fonte: da autora.

O resultado da análise do questionário inicial possibilitou identificar os conceitos que os estudantes apresentavam dificuldade de compreensão. Além disso, serviu de base para o planejamento das próximas etapas do estudo, sobretudo a proposta de intervenção para superar

as dificuldades, retomar ou avançar o conteúdo visando a aprendizagem significativa da interação enzima-substrato. Apresentamos na Figura 6 a categorização das respostas dos estudantes, com relação aos aspectos do conhecimento químico.

Figura 6 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do questionário inicial



Fonte: dados da pesquisa.

Legenda: categoria EA- explica de forma adequada; EPA- explica de forma parcialmente adequada; EI- explica de forma inadequada; NS- não sabe explicar ou não conhece; e AR- ausência de resposta.

É importante ressaltar que as categorias obtidas se referem a cada um dos aspectos analisados, por exemplo em relação ao primeiro aspecto analisado (conceito de interação E-S) foram obtidas três categorias (explica de forma parcialmente adequada, explica de forma inadequada e não sabe explicar ou não conhece).

Com base nas categorias obtidas, elaboramos o Quadro 2 contendo as descrições a respeito do que consideramos como sendo explicação adequada, explicação parcialmente adequada e explicação inadequada. Durante a categorização analisamos as informações levando em consideração a explicação científica da interação enzima-substrato segundo os autores Linenberger e Bretz (2014, 2015) e também dos aspectos químicos fundamentais para a compreensão da interação E-S de acordo com os autores Sangiogo e Zanon (2012).

Quadro 2 – Descrição das categorias obtidas para cada um dos aspectos analisados

	Categoria	Descrição
Conceito de interação E-S	1. Explica de forma adequada (EA).	1. Considera que ocorrem interações químicas entre E-S, formação do complexo E-S, mudanças na conformação, transformações químicas para formação do produto e atividade cíclica da enzima.
	2. Explica de forma parcialmente adequada (EPA).	2. Considera que ocorrem interações químicas entre E-S, porém não descreve mudanças na conformação, transformações químicas ou atividade cíclica da enzima.
	3. Explica de forma inadequada (EI).	3. Considera o conceito como sendo uma ligação e não a interação entre E-S.
Fatores químicos considerados	1. Explica de forma adequada (EA).	1. Considera pelo menos um dos aspectos macroscópicos/observáveis e submicroscópicos/não observáveis.
	2. Explica de forma parcialmente adequada (EPA).	2. Considera um ou dois aspectos macroscópicos/observáveis, porém não considera nenhum aspecto submicroscópico/não observável.
	3. Explica de forma inadequada (EI).	3. Considera que não há aspectos químicos na interação E-S.
Explicação pelo modelo chave- fechadura	1. Explica de forma adequada (EA).	1. Explica utilizando os elementos “chave” e “fechadura” e faz associação com o sítio ativo e a seletividade da enzima.
	2. Explica de forma parcialmente adequada (EPA).	2. Explica considerando a interação da enzima, porém não faz associação com o sítio ativo e a seletividade da enzima.
	3. Explica de forma inadequada (EI).	3. Explica utilizando apenas os elementos “chave” e “fechadura”, sem considerar nenhum dos aspectos químicos.
Explicação pelo modelo ajuste induzido	1. Explica de forma adequada (EA).	1. Explica considerando as interações entre E-S, sobretudo a mudança na conformação da enzima.
	2. Explica de forma parcialmente adequada (EPA).	2. Explica considerando as interações entre E-S e a mudança na conformação da enzima, porém descreve de maneira confusa.
	3. Explica de forma inadequada (EI).	3. Explica utilizando os termos “encaixe” ou “ligação” entre E-S, sem considerar a mudança na conformação da enzima.

Fonte: da autora.

Neste momento, utilizaremos excertos das respostas dos estudantes para exemplificar as categorias obtidas (Quadro 3), em relação aos conceitos analisados. Em seguida, utilizaremos

argumentos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), na tentativa de aproximar a mesma com as etapas da pesquisa.

Quadro 3 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do questionário inicial

	Categoria	Evidências nas respostas
Conceito de interação E-S	Explica de forma adequada	Não houve respostas classificadas.
	Explica de forma parcialmente adequada	“A interação enzima-substrato se dá pela reação que ocorre entre a enzima e o substrato. Quando ocorre essa interação há a formação de um complexo ES” (E6).
	Explica de forma inadequada	“A enzima se liga ao substrato formando a enzima-substrato” (E13).
	Não sabe explicar ou não conhece	“Não entendo, ainda não estudei, ouvi falar brevemente neste conteúdo que será dado na próxima aula de bioquímica” (E7).
Fatores químicos considerados na interação E-S	Explica de forma adequada	“O pH do meio, condições extremas de temperatura e a concentração das espécies no meio reacional” (E3).
	Explica de forma parcialmente adequada	“temperatura...” (E14).
	Explica de forma inadequada	Não houve respostas classificadas.
	Não sabe explicar ou não conhece	“Não sei” (E8).
- Interação E-S pelo modelo “chave fechadura”	Explica de forma adequada	“Eu ouvi falar brevemente que temos um sítio ativo que seria a fechadura e que tem uma chave (enzima) que se encaixa perfeitamente nela. Assim toda chave tem sua fechadura” (E7).
	Explica de forma parcialmente adequada	“Algumas enzimas interagem com o substrato para este desempenhar seu papel” (E4).
	Explica de forma inadequada	“O substrato “abre” um caminho para a passagem da enzima para o organismo” (E12).
	Não sabe explicar ou não conhece	“Não sei sobre o modelo chave-fechadura” (E11).
Interação E-S pelo modelo “ajuste induzido”	Explica de forma adequada	Não houve respostas classificadas.
	Explica de forma parcialmente adequada	“A enzima será induzida para que ocorra a sua interação com o substrato” (E6).
	Explica de forma inadequada	“Mais uma vez, apenas por dedução, o “encaixe” aconteceria através de um “mediador” que levaria ao encaixe” (E15).
	Não sabe explicar ou não conhece	“Não conheço esse modelo” (E8).

Fonte: dados da pesquisa.

Em uma das questões pedimos que os estudantes descrevessem como entendiam o conceito de interação enzima-substrato. Observamos que nenhum dos estudantes explicou de forma adequada este conceito, como pode ser evidenciado no excerto a seguir: “Que seja uma ligação entre uma enzima e um substrato” (E14). Notamos que a maioria dos estudantes considerou o conceito como sendo uma “ligação” entre a enzima e o substrato, ao contrário do conceito cientificamente aceito que aborda sobre as “interações químicas” entre a enzima e o substrato. A partir da análise das respostas dos questionários, é possível afirmar que nenhum dos estudantes antes das intervenções sabia explicar a interação enzima-substrato, considerando os conceitos fundamentais para o entendimento desse fenômeno, segundo Sangiogo e Zanon (2011), que seriam, as interações químicas, a presença de sítio ativo, a especificidade, a mudança conformacional e as transformações químicas.

Considerando a importância da interação/transição entre os níveis representacionais macroscópicos e submicroscópicos no processo de aprendizagem (GILBERT; TREAGUST, 2009), nos propusemos também a analisar, a partir da identificação dos aspectos químicos considerados na explicação da interação enzima-substrato, uma possível inferência sobre a capacidade de organização conceitual, bem como a conexão entre conceitos.

Do total de respostas, 11 estudantes apresentaram uma explicação parcial dos aspectos químicos comuns na interação enzima-substrato, tal como em: “O efeito do pH e da temperatura” (E2). Entendemos que a explicação adequada seria a descrição dos aspectos macroscópicos e submicroscópicos centrais da interação enzima-substrato, ou seja, dos aspectos observáveis e não observáveis, respectivamente. Porém, não identificamos nas respostas uma conexão entre os conceitos macroscópicos/observáveis (pH, temperatura, concentração de substrato, dentre outros) com os conceitos submicroscópicos/não observáveis (especificidade da interação entre a cadeia lateral de resíduos de aminoácidos do sítio ativo da enzima com o substrato, dentre outros).

Com base nessa observação sugerimos que as ideias que os estudantes têm sobre o conceito de interação enzima-substrato podem ser resultado de um processo de aprendizagem mecânica e fragmentada. De acordo com Gerhard e Rocha Filho (2012), muitas vezes a maneira como o conhecimento científico é ensinado pode ou não refletir na fragmentação do conhecimento. Essa fragmentação na aprendizagem pode estar associada a apresentação de diversos conteúdos pelo professor, em uma sequência de ensino que não preconiza a conexão entre os conceitos. Como aponta Gilbert (2005), estes estudantes tendem a construir explicações com base nos aspectos que são observáveis, sem relacionar aos aspectos não observáveis no fenômeno (aspectos submicroscópicos).

Ao mesmo tempo, essa ideia reforça os pressupostos da TAS, sob o ponto de vista dos autores Ausubel (2002) e Moreira (2012), que relatam que quando os conceitos são armazenados na estrutura cognitiva do aprendiz, de forma arbitrária e literal, não ocorre aprendizagem significativa. Como resultado, o que fica retido na estrutura cognitiva são os aspectos mais gerais (temperatura e pH), sem que haja a interação com os aspectos mais específicos (interações químicas entre aminoácidos), não ocorrendo, portanto, o processo de diferenciação conceitual progressiva requerido para a aprendizagem significativa.

Também destacamos na Figura 4 que, dos 15 estudantes, 9 explicaram a interação enzima-substrato pelo modelo chave-fechadura de forma inadequada, como observado no excerto a seguir: “Entendo como chave e fechadura, onde um complementa o outro” (E8). Constatamos, de maneira geral, que a maioria das respostas consideraram a interação entre a enzima e o substrato como um “encaixe físico, mecânico”, o que significa que não consideraram a complexidade do processo, em termos das interações químicas da atividade enzimática. Além disso, muitos estudantes relataram ter memorizado a interação enzima-substrato por meio das imagens de livros didáticos, o que pode dificultar ainda mais a visão tridimensional do processo. O exemplo pretende evidenciar a questão das imagens nos livros didáticos: “Foi mesmo o que eu vi em livros e que eu praticamente só memorizei e copiei” (E5).

Considerando que as respostas dos estudantes indicam que ocorre a “ligação” da enzima ao substrato, sugerimos a ideia de que a interação entre a enzima e o substrato seja do tipo “encaixe físico-mecânico”. Diante disso, a partir dos pressupostos da TAS, podemos dizer que, após certo tempo de ocorrido o ensino, os estudantes mantêm o conceito geral “chave-fechadura” na sua estrutura cognitiva como sendo a representação mais relevante da interação enzima-substrato. Como afirmam Sangiogo e Zanon (2012), o ensino pautado no uso das representações da interação enzima-substrato dos livros didáticos, especificamente o modelo chave-fechadura contribui, muitas vezes, para a construção dessas ideias equivocadas.

Em outro questionamento pedimos que os estudantes explicassem a interação enzima-substrato pelo modelo de ajuste induzido. Observamos que 9 estudantes não sabiam explicar ou não conheciam o modelo de ajuste induzido. Estes dados sugerem que apenas o modelo chave-fechadura foi apresentado aos estudantes durante o processo de ensino e aprendizagem no ensino médio. A partir desta constatação, buscamos planejar uma atividade de intervenção para apresentar o modelo de ajuste induzido, bem como esclarecer as diferenças entre os dois modelos utilizados pelos professores para explicar o conceito de interação enzima-substrato.

5.1.1 Análise das entrevistas realizadas com os estudantes

As entrevistas foram realizadas individualmente com quinze (15) estudantes e foram organizadas da seguinte forma: cada estudante recebeu o seu desenho e respondeu ao roteiro de questões da entrevista semiestruturado, o qual visou investigar o entendimento sobre a representação e o que o estudante buscou transmitir com o desenho. Além disso, optamos em realizar as entrevistas para compreender melhor como os estudantes explicavam ou tentavam explicar a interação enzima-substrato a partir dos seus desenhos e, obter informações em relação às dificuldades de compreensão conceitual. As entrevistas foram realizadas após a aula sobre o conteúdo de interação enzima-substrato.

Ao final da exploração e tratamento do material, foram identificadas dezesseis (16) categorias de significado²⁹, para um total de três (3) aspectos específicos analisados e cinco (5) aspectos gerais, de acordo com os padrões de respostas dos estudantes e relevância para a compreensão da problemática da pesquisa. Os aspectos específicos analisados nos desenhos foram: (i) conteúdo químico; (ii) explicação da interação enzima-substrato E-S; e (iii) representação da interação E-S. Em relação aos aspectos gerais analisados nos desenhos, os mesmos foram classificados quanto: (i) ao conhecimento dos aspectos químicos ao representar a interação E-S; (ii) à explicação do conceito utilizando o desenho; (iii) à explicação do conceito considerando o meio biológico; (iv) a aproximação da representação e o pensamento; e (v) ao conhecimento utilizado para elaborar a representação.

As informações foram organizadas e apresentadas com base nas ideias de Justi e Gilbert (2003), que também utilizaram categorias de significado, para determinados aspectos analisados sobre a percepção de professores, em relação à natureza dos modelos. Neste contexto, entendemos que as categorias de significado são equivalentes aos núcleos de sentido identificados nesta análise e consistem na descrição das informações.

É importante destacar que as categorias não foram definidas previamente, já que emergiram a partir da análise dos dados, em decorrência dos núcleos de sentidos identificados. Os aspectos analisados, as categorias, bem como as evidências obtidas nas respostas dos estudantes, sob a forma de excertos, estão apresentadas no Quadro 4.

²⁹ Entendemos, de acordo com Bardin (2011) que os aspectos analisados se referem às categorias gerais de análise e, que as categorias de significado sejam equivalentes às subcategorias de análise.

Quadro 4 – Categorização das respostas dos estudantes referentes às entrevistas sobre os modelos mentais expressos na forma de desenhos (Continua)

Aspecto analisado	Categorias de Significado	Evidências nas entrevistas
<i>Conteúdo Químico</i> Quanto ao conhecimento dos aspectos químicos ao representar a interação enzima-substrato	Considera as interações eletrostáticas	“Pode ter uma atração entre cargas, no caso eu representei com o substrato em formato triangular e o sítio ativo com formato triangular” (E1).
	Considera as interações eletrostáticas e hidrofóbicas	“No caso, a interação eletrostática e, tem a polaridade também que pode estar envolvida nessa interação” (E5).
	Considera outros tipos de interações	“Eu considerei as interações ou eletrostática ou a dipolo-dipolo, dipolo-induzido ou a interação de Van der Waals, que depende do tipo de enzima e o tipo de substrato” (E3).
	Não considera nenhum aspecto químico	“Então, que uma se encaixa na outra, mas não é químico, não é? Não considerei conhecimento químico” (E8).
<i>Explicação da interação E-S</i> Quanto à explicação do conceito utilizando o desenho	Explica utilizando o modelo chave-fechadura	“Eu ensinaria com... que... com um tipo mais comum, mais tradicional, que é o tipo chave-fechadura, né? Onde a enzima é... possui uma região onde o substrato se liga perfeitamente” (E3).
	Considera que existe mudança conformacional da enzima, porém utiliza o modelo chave-fechadura para explicar	“Eu desenhei assim (o estudante aponta para o desenho que representa o modelo chave-fechadura), que a enzima, ela dá uma pequena modificada de acordo com seu substrato e ela se liga conforme as interações químicas, forma produto e vai desempenhar função” (E13).

(Continua)

Aspecto analisado	Categorias de Significado	Evidências nas entrevistas
<p><i>Explicação da interação E-S</i></p> <p>Quanto à explicação do conceito utilizando o desenho</p>	<p>Considera que existe transformações químicas, porém utiliza o modelo chave-fechadura para explicar</p>	<p>“Formando esse exemplo de complexo enzima-substrato vai ocorrer as ligações químicas, as reações químicas e vai transformar no enzima-produto, que é representado aqui também... (o estudante aponta para o desenho que representa a interação E-S)” (E11).</p>
<p><i>Explicação da interação E-S</i></p> <p>Quanto à explicação do conceito considerando o meio biológico</p>	<p>Não considera a ocorrência deste fenômeno em meio biológico e não sabe explicar</p>	<p>“Não sei. Não consigo pensar assim. Como que eu explicaria, sabe? Não sei. Porque eu só imagino assim (o estudante aponta para o desenho), dessa maneira, que eu aprendi na aula, agora explicar no meio biológico. Talvez seja uma coisa bem óbvia, talvez eu saiba, mais assim, mas... saber explicar eu não sei” (E12).</p>
<p></p>	<p>Considera a ocorrência deste fenômeno em meio biológico, porém não sabe explicar</p>	<p>“Eu falaria na decomposição de alimentos, mas eu não saberia dizer de que forma assim, por não ter estudado mais à fundo essa parte, mas... Neste caso, eu estudei mais específico mesmo, o que é enzima, o que é o sítio ativo, o que é substrato, mas não a... não seria aplicação, mas não a função talvez em algum processo biológico” (E5).</p>
<p></p>	<p>Considera a ocorrência deste fenômeno em meio biológico e sabe explicar</p>	<p>“Em meio biológico, há partes, como por exemplo, do organismo humano como na língua ou no... ou em outras partes do corpo que há... há enzimas e essas enzimas elas não vão catalisar todo tipo de substrato, tanto que há alimentos que a gente come que são metabolizados no estômago porque algumas enzimas específicas estão no estômago. Outros são metabolizados somente no intestino porque outras enzimas estão no intestino, então, uma enzima se difere da outra, cada uma vai catalisar um tipo de determinado substrato” (E1).</p>

(Continua)

Aspecto analisado	Categorias de Significado	Evidências nas entrevistas
<p><i>Representação da interação E-S</i></p> <p>Quanto a aproximação da representação e o pensamento</p>	<p>Não considera que o desenho representa o que pensa a respeito da interação E-S</p> <p>Considera que o desenho representa o que pensa a respeito da interação E-S</p> <p>Considera que o desenho representa parcialmente o que pensa a respeito da interação E-S</p>	<p>“Não... Porque eu acho que tudo que a gente pensa entre a enzima e o substrato, a gente tenta pensar no modo tridimensional, que ela pudesse ser tipo, novelo de lã... é, que as proteínas estão envolvidas entre elas, só que no desenho a gente representa como uma bola” (E2).</p> <p>“Se na realidade, se no nosso processo fisiológico é isso que acontece eu não sei, mas de uma forma esquemática eu entendo assim (o estudante aponta para o desenho)” (E7).</p> <p>“Não completamente porque eu não consigo, com a minha capacidade de desenhar, eu não consigo descrever tudo que acontece, assim (o estudante aponta para o desenho), o que eu aprendi sobre bioquímica. É bem simbólico mesmo, é bem geral, o desenho que eu fiz” (E15).</p>
<p><i>Representação da interação E-S</i></p> <p>Quanto ao conhecimento utilizado para elaborar a representação</p>	<p>Considera que utilizou exemplos para elaborar o desenho</p> <p>Não considerou nenhum exemplo ao elaborar o desenho</p>	<p>“Eu fiz um PAC-MAN assim... (o estudante sinaliza com as mãos o movimento de abre e fecha e aponta para o desenho) mais ou menos, sabe, mas foi aquilo mesmo que eu disse com relação ao que vi em livros, eu praticamente copieei aquilo que eu vi” (E5).</p> <p>“Não pensei em nenhum exemplo, assim, eu só fiz mesmo uma forma da enzima que pudesse ter algum formato que pudesse encaixar o substrato, que foi uma forma geométrica aleatória” (E7).</p>

(Conclusão)

Aspecto analisado	Categorias de Significado	Evidências nas entrevistas
	Considera exemplo específico de enzima e substrato	“De exemplo eu tinha pensado na enzima sendo um exemplo de enzima, sendo a lactase e o substrato sendo a lactose. Que a enzima lactase seria a capaz de “digerir” (o estudante faz um gesto com as mãos indicando aspas), vamos falar assim, a lactose, no caso” (E11).

Fonte: dados da pesquisa.

Optamos pela apresentação dos dados na forma de frequência de respostas identificadas em cada categoria analisada. A Tabela 1 ilustra as categorias de significado e a frequência absoluta (N) das respostas obtidas através das entrevistas realizadas, para investigar os modelos mentais expressos pelos estudantes do curso de Licenciatura em Química.

Tabela 1 – Categorias de Significado e a frequência absoluta (N) de respostas dos estudantes referentes às entrevistas sobre os modelos mentais expressos na forma de desenhos (Continua)

	Categoria de Significado	Frequência de respostas	Total
Conteúdo Químico	Considera as interações eletrostáticas	E1; E10; E11	3
	Considera as interações eletrostáticas e hidrofóbicas	E5; E12	2
	Considera outros tipos de interações	E2; E3; E4; E6	4
	Não considera nenhum aspecto químico	E7; E8; E9; E13; E14; E15	6
Explica pelo modelo Chave-fechadura	Explica utilizando o modelo chave-fechadura	E1; E2; E3; E8; E9; E14; E15	7
	Considera que existe mudança conformacional da enzima, porém utiliza o modelo chave-fechadura para explicar	E4; E7; E13	3
	Considera que existe transformações químicas, porém utiliza o modelo chave-fechadura para explicar	E5; E6; E10; E11; E12	5
Explica considerando o Meio biológico	Não considera a ocorrência deste fenômeno em meio biológico e não sabe explicar	E7; E9; E12	3
	Considera a ocorrência deste fenômeno em meio biológico, porém não sabe explicar	E4; E5; E6; E8; E13; E14	6
	Considera a ocorrência deste fenômeno em meio biológico e sabe explicar	E1; E2; E3; E10; E11; E15	6

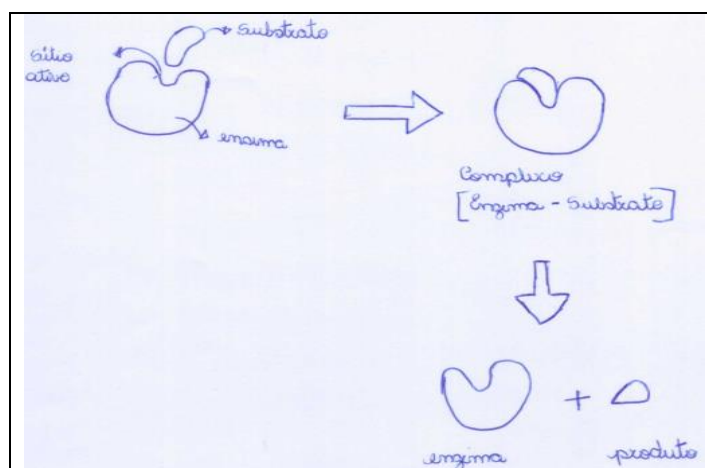
(Conclusão)

	Categoria de Significado	Frequência de respostas	Total
Representa o que pensa	Não considera que o desenho representa o que pensa a respeito da interação E-S	E1; E2	2
	Considera que o desenho representa o que pensa a respeito da interação E-S	E4; E6; E7; E8; E10; E11; E13; E14	8
	Considera que o desenho representa parcialmente o que pensa a respeito da interação E-S	E3; E5; E9; E12; E15	5
Representa considerando exemplos	Considera que utilizou exemplos para elaborar o desenho	E5; E12; E15	3
	Não considerou nenhum exemplo ao elaborar o desenho	E1; E2; E3; E4; E6; E7; E8; E9; E10; E13; E14	11
	Considera exemplo específico de enzima e substrato	E11	1

Fonte: da autora.

Durante a entrevista, perguntamos aos estudantes quais aspectos do conhecimento químico haviam considerado para representar a interação enzima-substrato. Do total de 15 estudantes, 9 consideraram algum aspecto químico, como observamos no seguinte excerto: “Pode ter uma atração entre cargas, no caso eu representei com o substrato em formato triangular e o sítio ativo com formato triangular” (E1). Entendemos que a maioria dos estudantes relataram ter considerado algum tipo de interação química, porém, não representaram essa interação no desenho. Apresentamos, na Figura 7, a representação da interação enzima-substrato que constata essa afirmação.

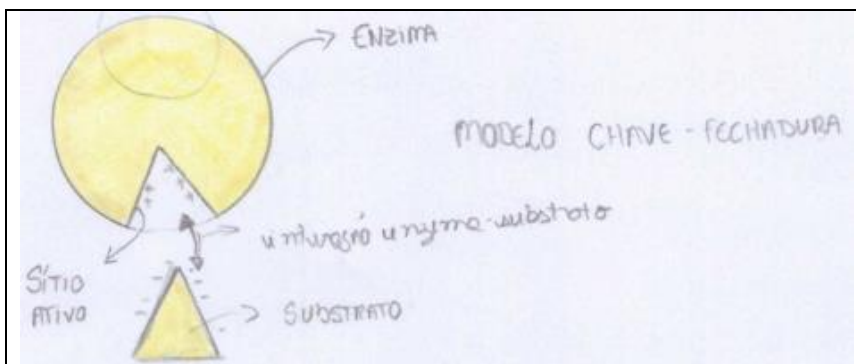
Figura 7 – Representação da interação enzima-substrato do estudante E2



Fonte: dados da pesquisa.

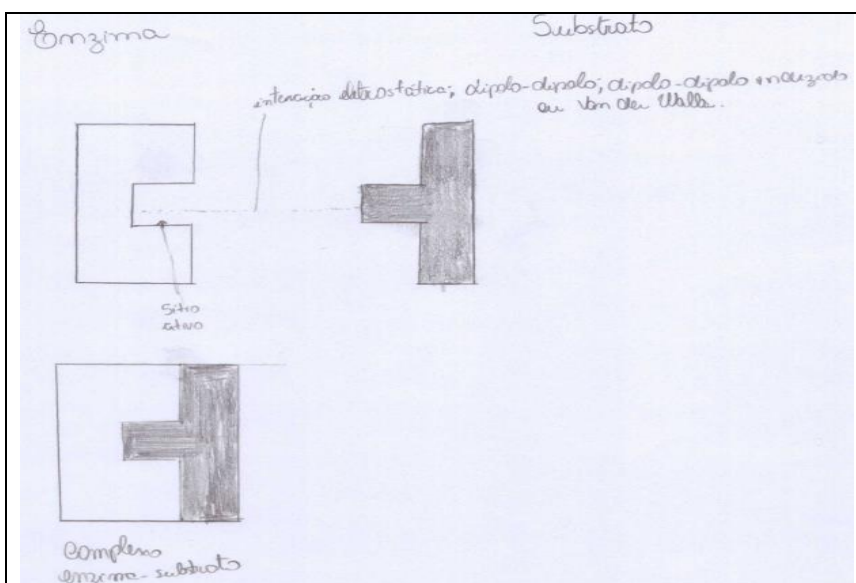
Dentre os quinze estudantes que participaram desta etapa da pesquisa, apenas 2 estudantes (E3 e E5) representaram em seus desenhos algum tipo de interação, especificamente a representação de cargas, como pode ser observado nas Figuras 8 e 9. Tal análise sugere que a maior parte dos estudantes apresentou dificuldade em representar, por meio dos desenhos, os aspectos submicroscópicos do conhecimento químico envolvidos na interação enzima-substrato, como por exemplo, as interações químicas entre as cadeias laterais dos aminoácidos e as transformações químicas. Carlisle, Tyson e Nieswandt (2015) e Gilbert (2004) também relatam em seus estudos a dificuldade que a maioria dos estudantes têm em representar conceitos e processos químicos, devido ao não desenvolvimento de habilidades visuais, que possibilitariam a transição entre o macroscópico e o submicroscópico.

Figura 8 – Representação da interação enzima-substrato do estudante E5



Fonte: dados da pesquisa.

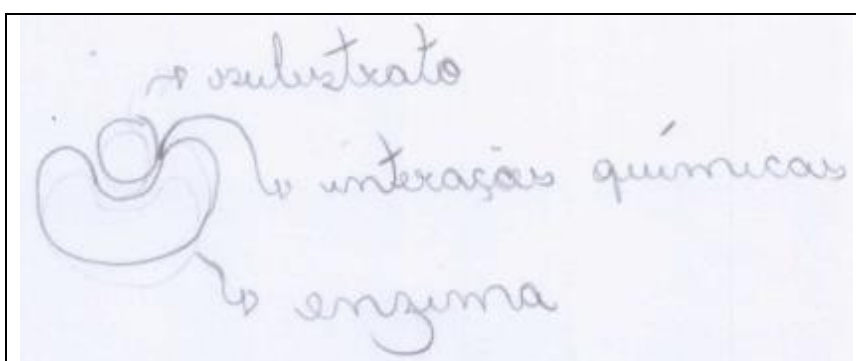
Figura 9 – Representação da interação enzima-substrato do estudante E3



Fonte: dados da pesquisa.

Observamos, pela análise dos desenhos, bem como pelas respostas ao questionamento: “Como você explicaria a interação enzima-substrato utilizando sua representação?”; que todos os estudantes (N=15) utilizaram o modelo chave-fechadura para explicar e para representar a interação enzima-substrato (desenho). Entendemos que a maioria dos estudantes consideraram mudanças de conformação ou transformações químicas, entretanto, utilizaram o modelo chave-fechadura para explicar o fenômeno. A exemplo disso, temos na Figura 10 uma representação de um estudante que considerou a mudança conformacional durante a explicação, porém, não representou em seu desenho.

Figura 10 – Representação da interação enzima-substrato do estudante E13



Fonte: dados da pesquisa.

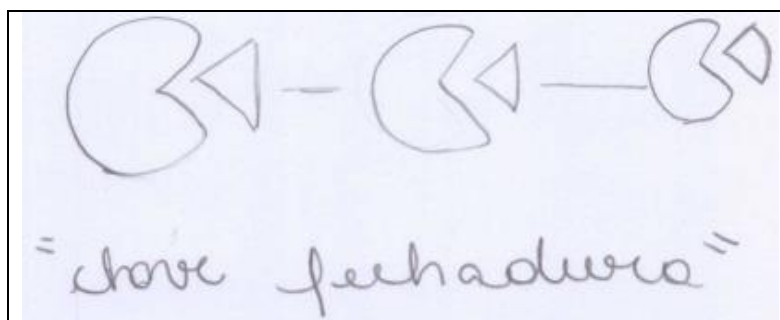
Estes dados sugerem que os estudantes apresentavam dificuldade em representar a interação entre a enzima e o substrato como sendo um processo não estático, no sentido de considerar os aspectos químicos da interação para explicar e representar o conceito em questão. Isso pode indicar a dificuldade dos estudantes em transitar entre a explicação e a representação da interação enzima-substrato, considerando a perspectiva tridimensional. A fala de um estudante ilustra esta afirmação e retoma a discussão realizada por Sangiogo e Zanon (2012), sobre as limitações do uso dos livros didáticos: “... quando a gente vê essas representações no livro ela não traz tridimensional, traz mesmo é plano, 2D, 1D, dessa maneira... não saberia como que seria essa representação tridimensional” (E7).

A dificuldade representacional expressa na fala do estudante sobre o fenômeno observado pode ser reflexo do processo de ensino que pode estar associado ao não uso de recursos para o desenvolvimento de habilidades espaciais, metavisuais e representacionais no ensino. Ferreira e Arroio (2013) e Gilbert (2010) afirmam que, sem o desenvolvimento dessas habilidades, o estudante não consegue transitar entre os níveis do conhecimento químico, sobretudo entre os diferentes modos de representação (concreto, verbal, visual e gestual).

Em outro questionamento pedimos aos estudantes que explicassem a ocorrência da interação enzima-substrato em meio biológico e que, na ocorrência desse fenômeno em meio biológico, considerassem os aspectos químicos. Observamos que a maior parte dos estudantes consideraram a existência desse fenômeno em meio biológico, porém não sabiam explicar. Percebemos que muitos estudantes compreendiam que as enzimas são catalisadores químicos, que possuem funções como o aumento da velocidade da reação, porém, não consideraram que este mesmo processo ocorre no organismo humano.

Em relação a representação da interação enzima-substrato, focalizamos a discussão sob a análise de duas perguntas realizadas aos estudantes: 1. Você considera que seu desenho representa o que você pensa a respeito da interação enzima-substrato?; 2. Você pensou em algum exemplo para elaborar a representação?. A maior parte dos estudantes (N=8) considerava que o desenho representava o que pensava sobre a interação enzima-substrato. Apresentamos, na Figura 11, um exemplo de desenho elaborado, referente a esta categoria. Identificamos, através dos desenhos, a ideia que os estudantes tinham em sua mente a respeito da interação enzima-substrato. A Figura 11 representa a interação enzima-substrato pelo modelo “chave fechadura” representada pelo estudante E8.

Figura 11 – Representação da interação enzima-substrato do estudante E8



Fonte: dados da pesquisa.

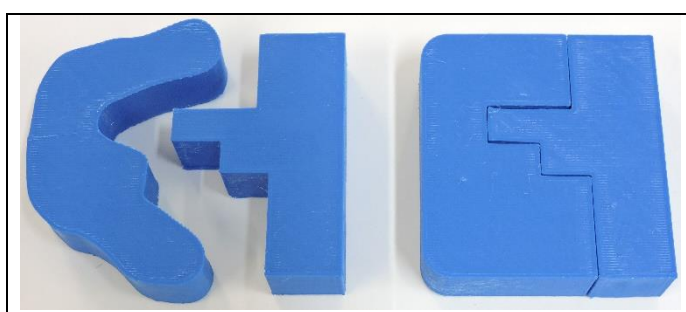
Em relação à análise da segunda pergunta, 11 estudantes responderam que não haviam considerado nenhum exemplo ao elaborar o desenho. Percebemos, com estas respostas, a dificuldade que os estudantes têm em compreender a interação enzima-substrato, sobretudo, em citar exemplos ou situações nas quais esse mesmo fenômeno ocorre. De modo geral, utilizamos estas respostas para planejar as atividades de intervenção, pensando em trabalhar as dificuldades apresentadas no questionário e na entrevista inicial.

5.2 ANÁLISE E AVALIAÇÃO DOS MODELOS 3D ELABORADOS PELOS ESTUDANTES

O objetivo da análise dos modelos mentais foi investigar os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito da interação enzima-substrato e construir os modelos 3D impressos a partir dos desenhos elaborados. Antes das entrevistas, pedimos que os estudantes elaborassem um desenho que representasse a interação entre a enzima e o substrato. Ainda nesta atividade, pedimos que cada grupo escolhesse, consensualmente, um desenho para ser impresso.

O resultado esperado era que os estudantes construíssem suas representações relacionando aspectos macroscópicos e submicroscópicos do fenômeno em estudo, de modo que, a participação dos estudantes nas atividades de modelagem contribuísse para a construção de modelos 3D que explicassem cientificamente o fenômeno apresentado, como apontam Pérez, Galindo e Galli (2018). Uma possível evidência seria a constatação de representações semelhantes ao modelo de ajuste induzido (Figura 12). Este modelo é recomendado por cientistas por ser a representação que mais se aproxima do conceito científico da interação enzima-substrato. Ressaltamos que o uso do modelo de ajuste induzido poderia indicar a compreensão das interações químicas que resultam na mudança conformacional da enzima.

Figura 12 – Modelo 3D impresso de ajuste induzido elaborado com base no desenho criado por Linenberger e Bretz (2015)

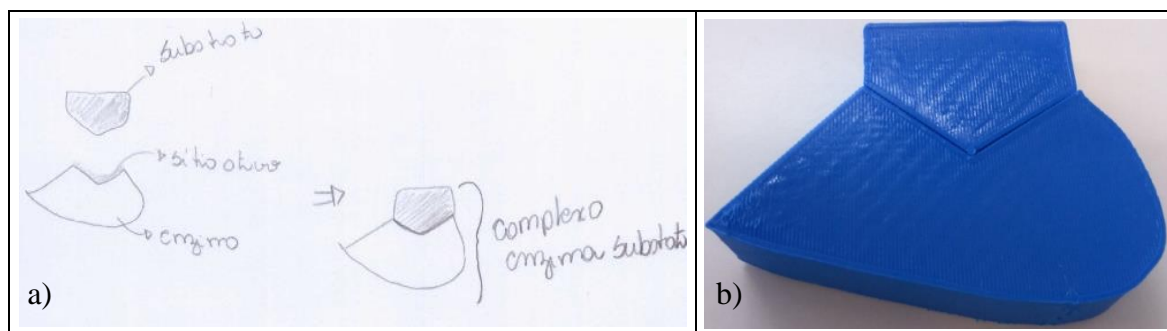


Fonte: da autora.

Por outro lado, os modelos 3D iniciais destes estudantes apresentaram, de modo geral, os aspectos macroscópicos da interação, o que pode significar uma compreensão da interação enzima-substrato como um modelo rígido de chave-fechadura. De igual modo, pode significar que ao elaborar estas representações os estudantes ainda não conseguiam pensar nas interações e transitar do nível macroscópico para o nível submicroscópico, como apresentado nas Figuras

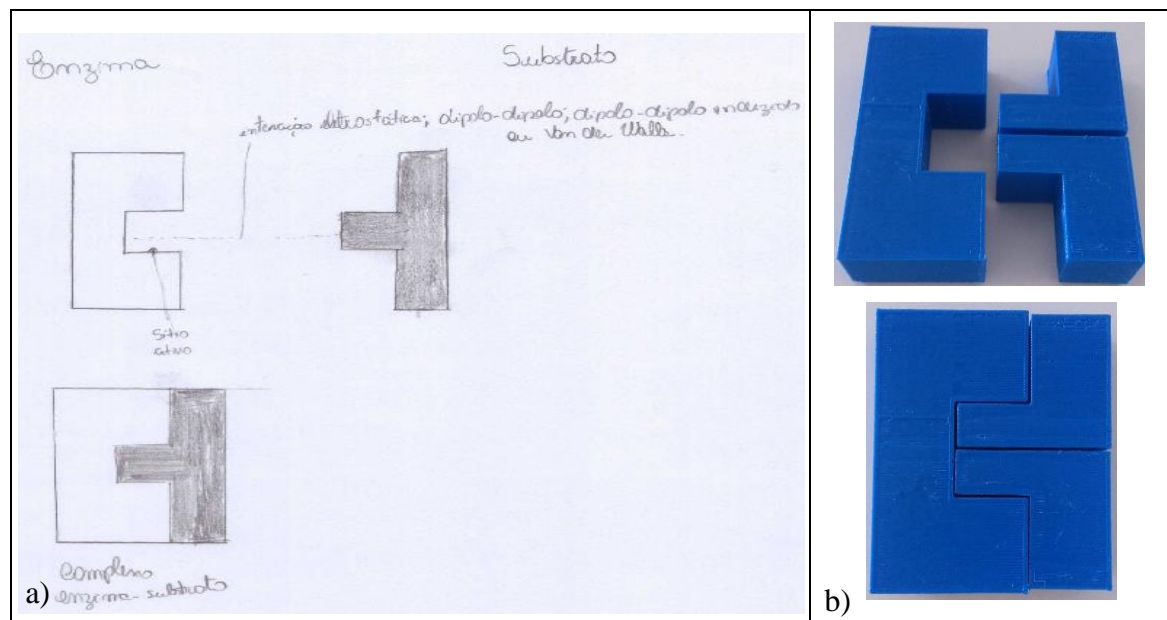
13 e 14. Dessa forma, analisamos os cinco desenhos escolhidos pelos estudantes e seus respectivos modelos 3D impressos (Figuras 13, 14, 15, 16 e 17). Para esta etapa da análise, buscamos identificar os elementos comuns³⁰ (Tabela 2) nos modelos expressos, comparando os resultados com o modelo cientificamente aceito.

Figura 13 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E7 e b) Modelo 3D impresso escolhido pelo Grupo 1



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 14 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E3 e b) Modelo 3D impresso escolhido pelo Grupo 2



Fonte: dados da pesquisa.

Nesse contexto, o objetivo foi possibilitar aos estudantes a atribuição de significado às representações, conhecendo suas potencialidades e limitações a partir da identificação de quais

³⁰ Os elementos comuns se referem aos códigos de análise, os quais foram definidos a partir dos fatores químicos fundamentais para a ocorrência da interação enzima-substrato, sob a percepção dos autores Sangiogo e Zanon (2012).

elementos cada modelo, de fato, representava ou não. Apoiamos esta perspectiva no estudo de Gilbert (2005) que descreve sobre a importância da identificação dos códigos relacionados às representações no processo de modelagem. A Tabela 2 aponta os elementos codificados nos modelos escolhidos em consenso pelos cinco grupos, nomeados por G1 até G5.

Tabela 2 – Identificação dos elementos codificados nos modelos 3D impressos dos grupos G1 a G5

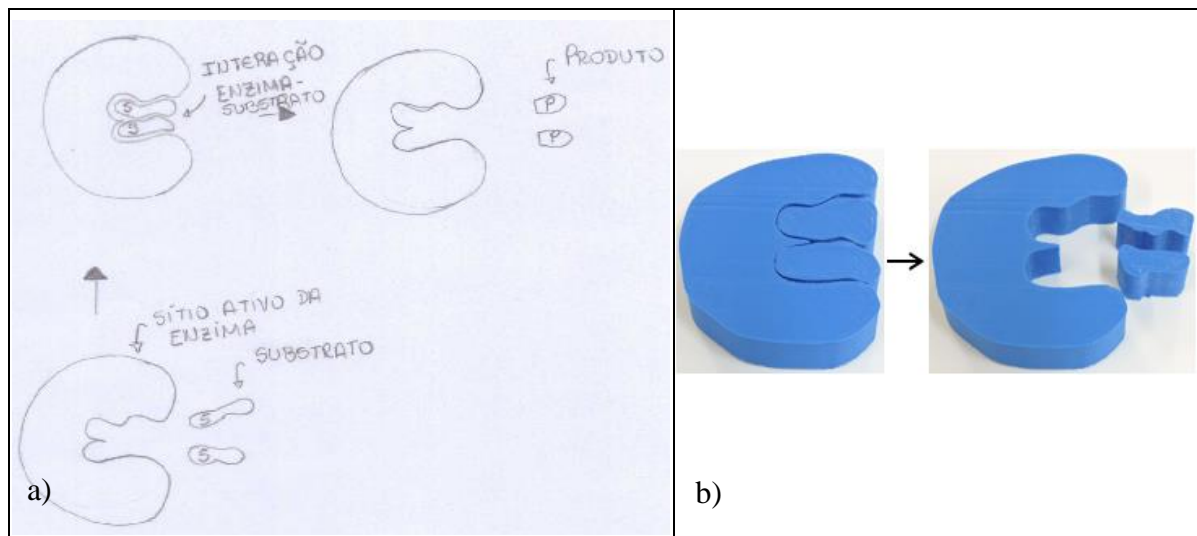
Elementos codificados	G1	G2	G3	G4	G5	Total
Especificidade	X	X	X	X	X	5
Sítio ativo	X	X	X	X	X	5
Interações químicas						0
Mudança conformacional						0
Transformações químicas			X	X	X	3
Atividade cíclica da enzima			X	X	X	3

Fonte: dados da pesquisa.

Com relação a especificidade e a presença de sítio ativo, todos os modelos concretos atendiam aos objetivos de ensino. Contudo, ressaltamos que dos seis elementos que correspondem aos códigos do modelo cientificamente aceito, dois elementos (interações químicas e mudança conformacional) não foram contemplados nos modelos 3D impressos iniciais. Esses dados podem sugerir a predominância de uma visão macroscópica do fenômeno, o que pode indicar a dificuldade dos estudantes em transitar entre o nível macroscópico e o nível submicroscópico.

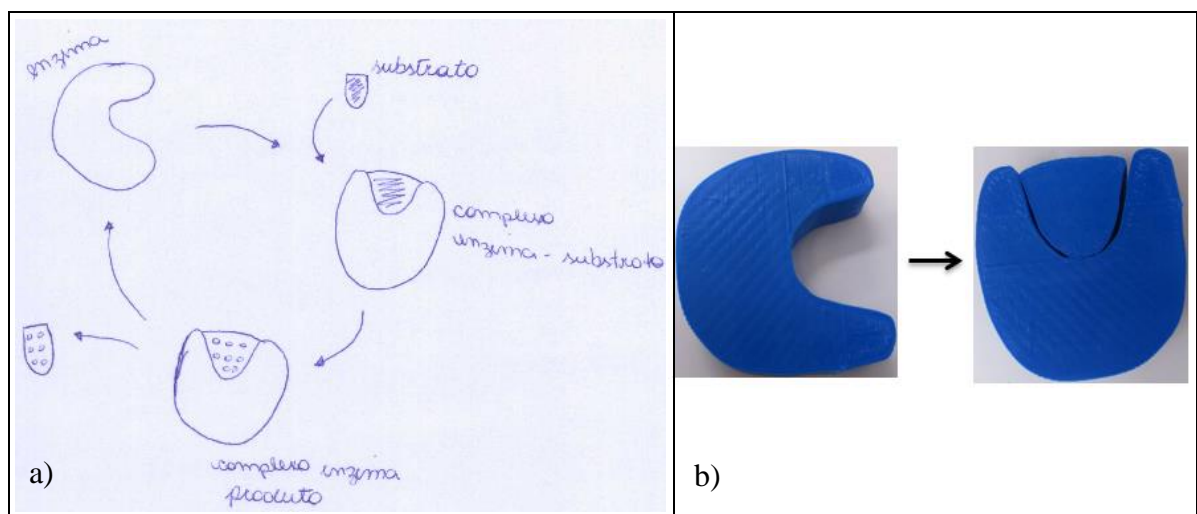
Notamos também que três modelos 3D impressos, Figuras 15, 16 e 17, respectivamente, poderiam ter representado a atividade cíclica da enzima (o mesmo modelo poderia ser utilizado para representar a enzima no início e no final do processo) e a ocorrência de transformações químicas (modelo que representa os produtos formados na reação enzimática). Ainda que os estudantes tivessem uma visão geral do processo, estes precisavam avançar em termos de conhecimento químico, sobretudo ao desenvolvimento de habilidades metavisuais, necessárias para a compreensão atômico-molecular da interação enzima-substrato.

Figura 15 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E6 e b) Modelo 3D impresso escolhido pelo Grupo 3



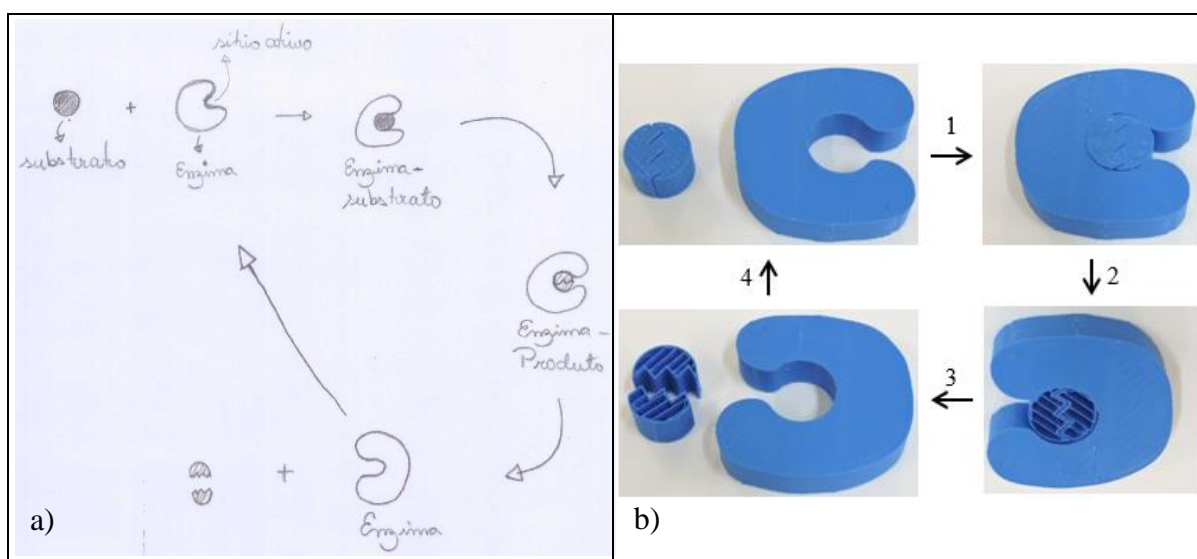
Fonte: dados da pesquisa.

Figura 16 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E10 e b) Modelo 3D impresso escolhido pelo Grupo 4



Fonte: dados da pesquisa.

Figura 17 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E11 e b) Modelo 3D impresso escolhido pelo Grupo 5



Fonte: dados da pesquisa.

Consideramos, com a observação dos desenhos e dos modelos 3D impressos, que os modelos mentais que os estudantes apresentaram em sua estrutura cognitiva consistiam em ideias de um fenômeno representado por um encaixe físico mecânico e, dessa forma, sua externalização culminava na representação do modelo chave-fechadura. Esses dados sugerem uma visão pouco inclusiva da interação enzima-substrato, a qual pode ser evidenciada a partir da identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes. Destarte, surge a necessidade da elaboração, bem como da reelaboração dos modelos mentais. Tais pressupostos estão baseados na Teoria da Aprendizagem Significativa, a qual prevê que a construção dos modelos mentais seja o primeiro passo para a aprendizagem significativa (MOREIRA, 2009).

Verificamos que os estudantes apresentavam uma ideia equivocada da interação enzima-substrato, portanto, precisavam repensar o modelo elaborado inicialmente. Os desenhos dos estudantes informam sobre os seus conhecimentos prévios, conforme descrito por Linenberger e Bretz (2014, 2015), que destacam que, muitas vezes, os estudantes pensam e desenham a enzima e o substrato como sendo peças de um “quebra-cabeça” que são conectados, ou seja, que precisam de um “encaixe” do substrato na enzima para ocorrer a “ligação”.

Sendo assim, propusemos as atividades de intervenção visando possibilitar a aprendizagem significativa dos conceitos fundamentais sobre a interação enzima-substrato. Buscamos, ao longo das atividades, a interação ativa e integradora entre as ideias expressas pelos estudantes com o conceito “interação enzima-substrato”, na intenção de que os estudantes reorganizassem suas estruturas cognitivas ao longo do processo de modelagem 3D. Para isso,

seguimos o modelo Ausubeliano de diferenciação conceitual progressiva, proposto por Moreira e Masini (2006), o qual prevê o processo de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa dos conceitos. Ao longo das atividades de intervenção realizamos a negociação de significados com os estudantes, propondo hipóteses que os estudantes pudessem argumentar durante a discussão das limitações dos modelos 3D elaborados.

No final da atividade de intervenção 2 pedimos que os estudantes reelaborassem seus desenhos e que escolhessem em grupo um modelo consensual. Alguns grupos optaram por utilizar o mesmo desenho, porém, outros estudantes sugeriram adaptações. Os modelos foram impressos pela pesquisadora e as adaptações foram realizadas pelos estudantes durante a atividade de intervenção 4. A Tabela 3 apresenta a identificação dos elementos codificados nos modelos reelaborados escolhidos em consenso pelos cinco grupos, nomeados por G1 até G5.

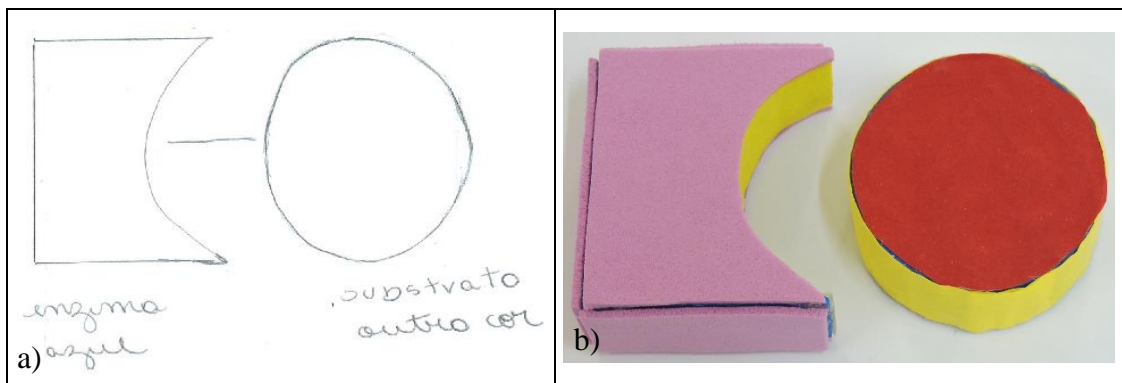
Tabela 3 – Identificação dos elementos codificados nos modelos 3D impressos reelaborados dos grupos G1 a G5

Elementos codificados	G1	G2	G3	G4	G5	Total
Especificidade	X	X	X	X	X	5
Sítio ativo	X	X	X	X	X	5
Interações químicas	X	X	X	X	X	5
Mudança conformacional	X	X			X	3
Transformações químicas	X	X		X	X	4
Atividade cíclica da enzima	X	X		X	X	4

Fonte: dados da pesquisa.

Buscamos interpretar os resultados da fase de reelaboração dos modelos 3D, com base nas informações obtidas por meio da relação entre os elementos codificados nestes modelos com o modelo cientificamente aceito. Notamos a presença de dois elementos (interações químicas e mudança conformacional) após a reelaboração dos modelos 3D. Apresentamos a seguir (Figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 e 25) a análise e discussão sobre os cinco desenhos escolhidos pelos estudantes e seus respectivos modelos 3D impressos.

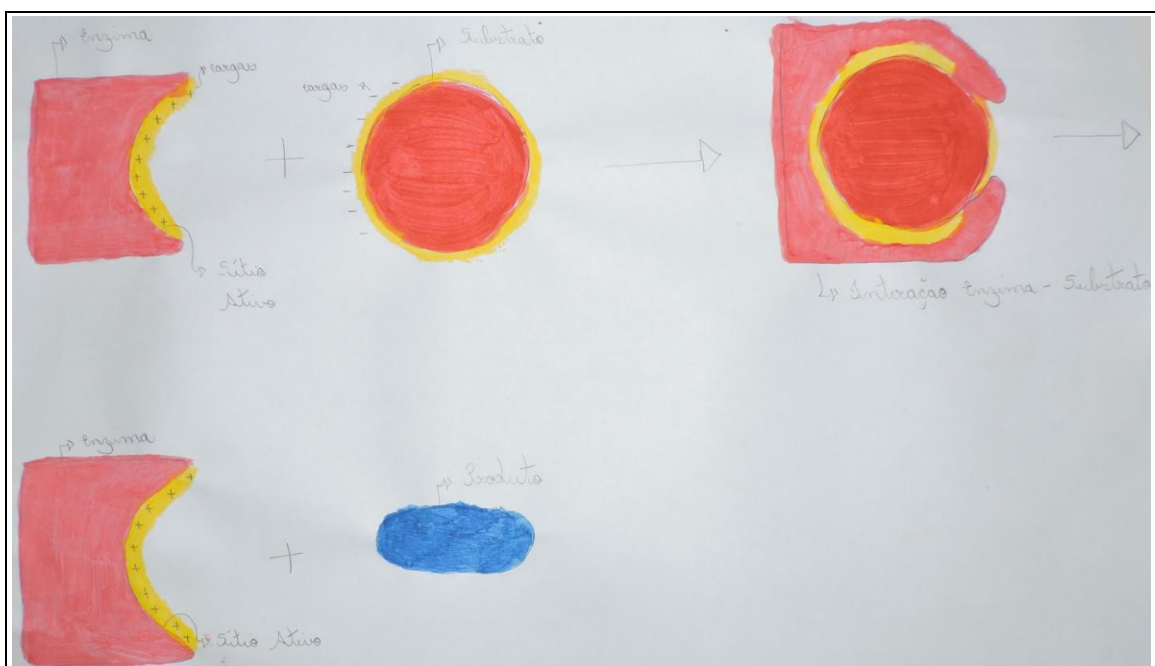
Figura 18 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E8 e b) Modelo 3D impresso reelaborado escolhido pelo Grupo 1



Fonte: dados da pesquisa.

Os próprios estudantes avaliaram seus modelos, com base na identificação dos elementos comuns codificados nos modelos 3D impressos. Observamos que o modelo 3D elaborado pelo grupo 1 (Figura 18) não avançou de forma satisfatória, em termos da representação de elementos químicos, se comparado ao modelo inicial. Entretanto, os estudantes registraram em uma cartolina (Figura 19) a ideia sobre a interação enzima-substrato. Entendemos que os estudantes não conseguiram representar no modelo concreto misto alguns dos elementos identificados no desenho como, por exemplo, a “enzima” com formato diferente e o “produto” da transformação química.

Figura 19 – Representação da interação enzima-substrato elaborada pelo Grupo 1

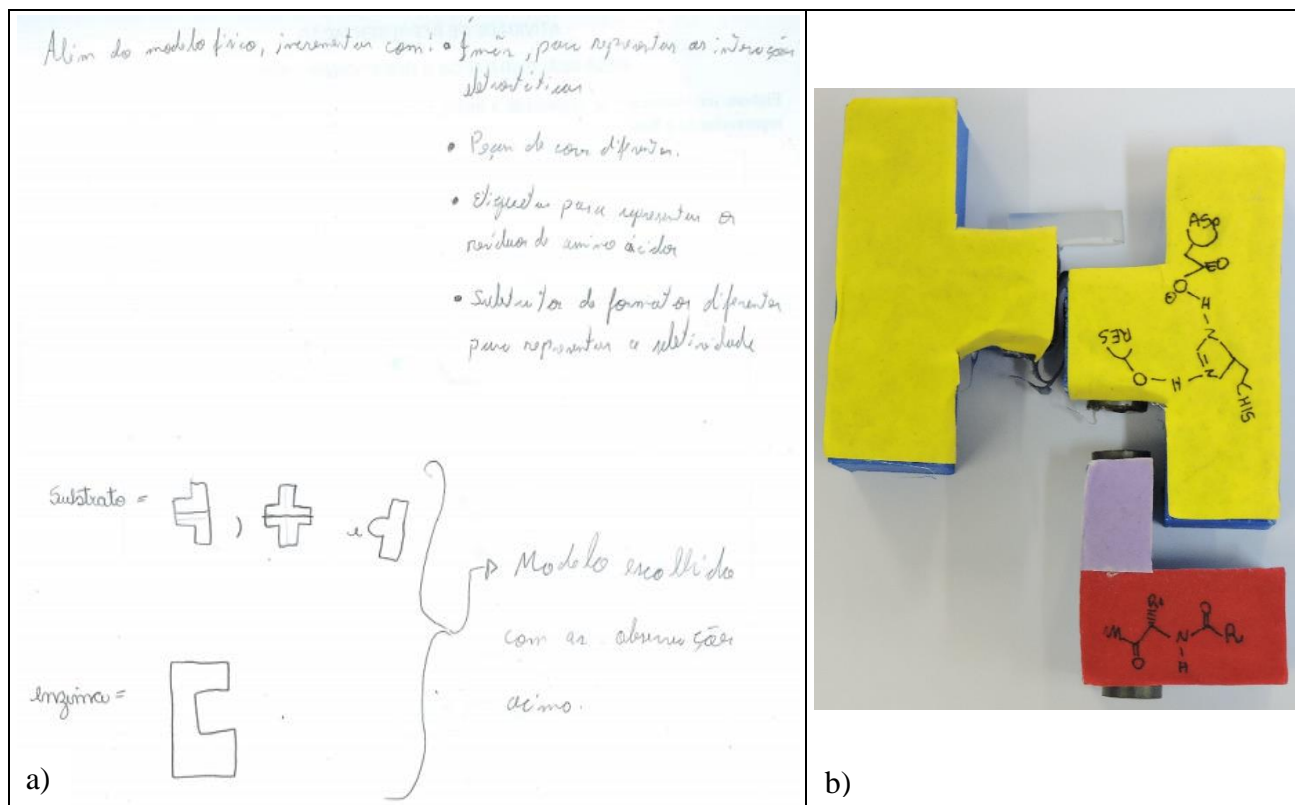


Fonte: dados da pesquisa.

Verificamos no desenho elaborado pelo grupo 1, a presença de todos os seis aspectos químicos da interação enzima-substrato analisados (Tabela 3). Ainda que os aspectos submicroscópicos não foram representados no modelo concreto misto, houve um avanço no desenvolvimento das habilidades metavisuais, principalmente a capacidade de orientação espacial (capacidade de prever a mudança na conformação da enzima).

Já a análise do modelo 3D reelaborado pelo grupo 2 (Figura 20) demonstrou desenvolvimento satisfatório das habilidades metavisuais, uma vez que todos os seis aspectos químicos da interação enzima-substrato analisados foram representados no modelo 3D impresso.

Figura 20 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E1 e b) Modelo 3D impresso reelaborado escolhido pelo Grupo 2



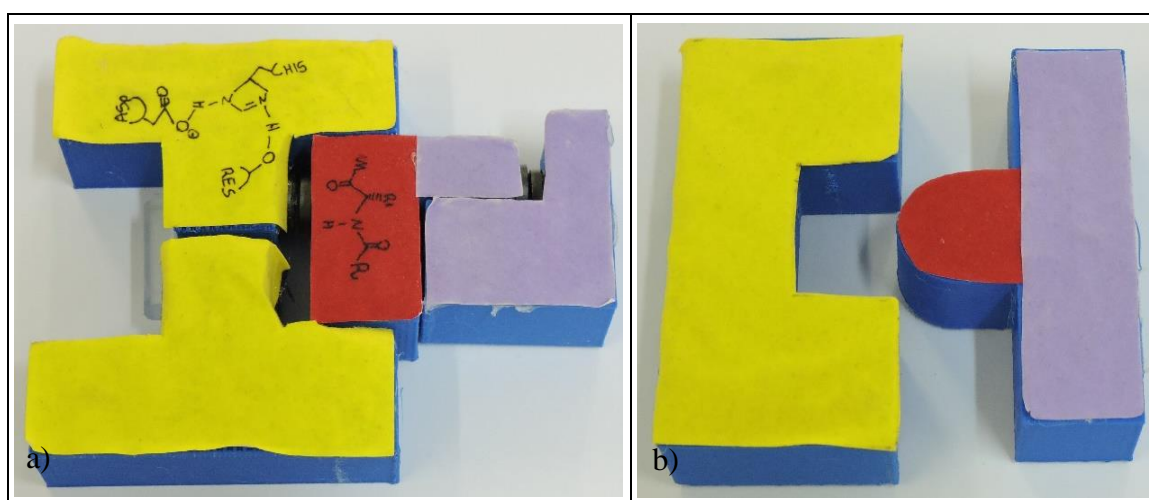
Fonte: dados da pesquisa.

Os estudantes (E1; E2 e E3), foram capazes de elaborar adaptações para modelo 3D impresso, de forma a tornar o modelo mais próximo do modelo de ajuste induzido. Destacamos que, no modelo 3D impresso, são representadas as interações eletrostáticas (uso de ímãs para representar), mudança conformacional (uso de borracha e bastão de cola que simulam o movimento da enzima, especificamente na região onde ocorre a interação), uso de

representações das estruturas químicas da enzima (representada em amarelo) e do substrato (representado em vermelho e lilás).

Além disso, o grupo elaborou outro modelo para representar a possibilidade de interação de “um inibidor” ou “cofator” enzimático (Figura 21a). Outra ideia apresentada foi a adaptação de outra peça do modelo 3D impresso com uma das peças do modelo elaborado inicialmente, para representar a ideia de especificidade da enzima pelo substrato (Figura 21b).

Figura 21 – a) Representação de um “cofator” interagindo e b) Representação de um exemplo quando não ocorre interação

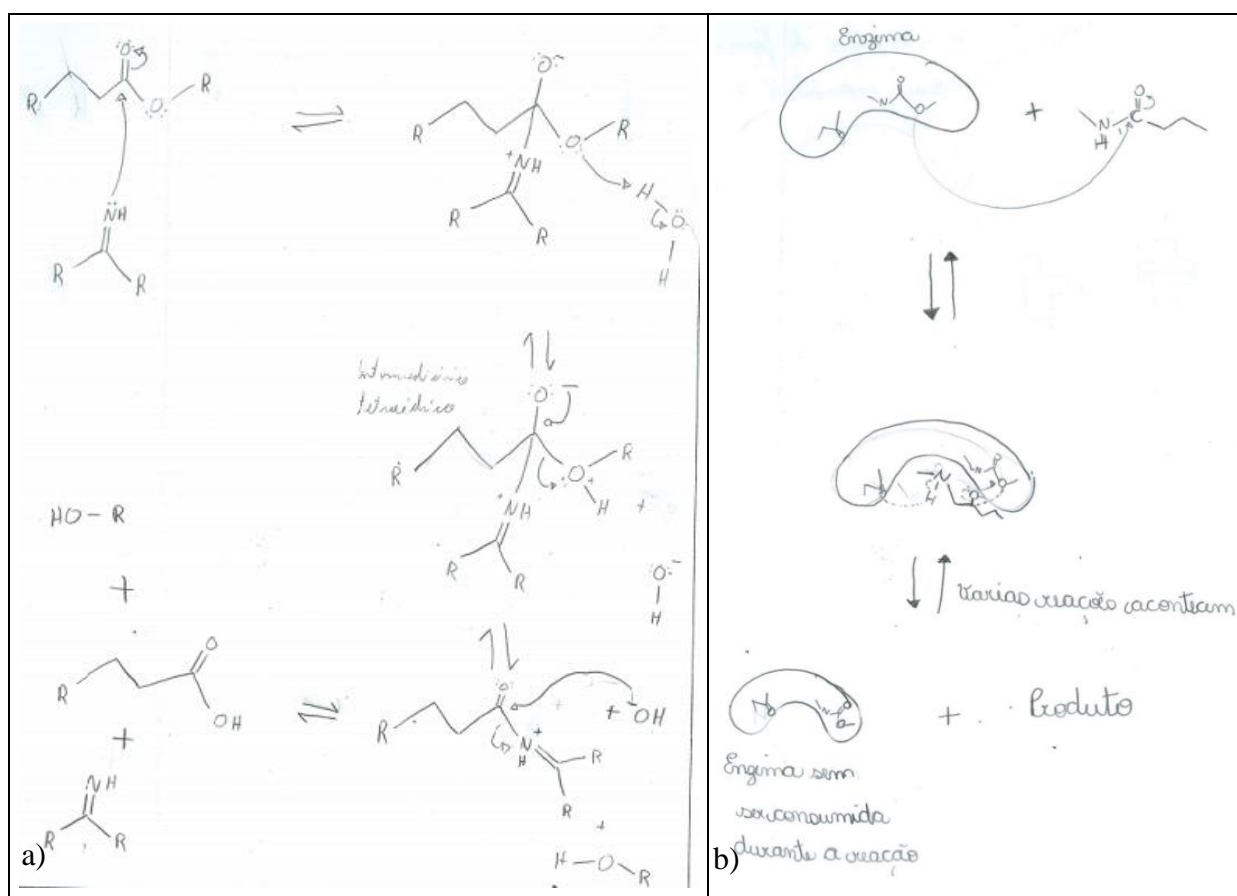


Fonte: dados da pesquisa.

Compreendemos que as habilidades espaciais, metavisuais e representacionais foram desenvolvidas de maneira satisfatória pelos estudantes. O desenvolvimento dessas habilidades pode ter contribuído para a transição entre os diferentes níveis do conhecimento químico, conseqüentemente, aos modos de representação. Sendo assim, constatamos que as atividades de intervenção podem ter contribuído para o processo de aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato.

Afirmamos esta hipótese com base em uma das representações elaboradas, contendo aspectos semelhantes aos mecanismos de ação trabalhados nas intervenções. Dessa maneira, possibilitou reconhecer elementos mais específicos, por exemplo, a formação de intermediários tetraédricos durante a atividade enzimática (Figura 22a) e a complexidade da reação (Figura 22b) compreendida pela representação de estruturas químicas e pela descrição no desenho “Várias reações acontecem” (E1).

Figura 22 – a) Representação da interação enzima-substrato E1 desenhada no verso da folha e
b) Representação da interação enzima-substrato E1 desenhada no verso da folha



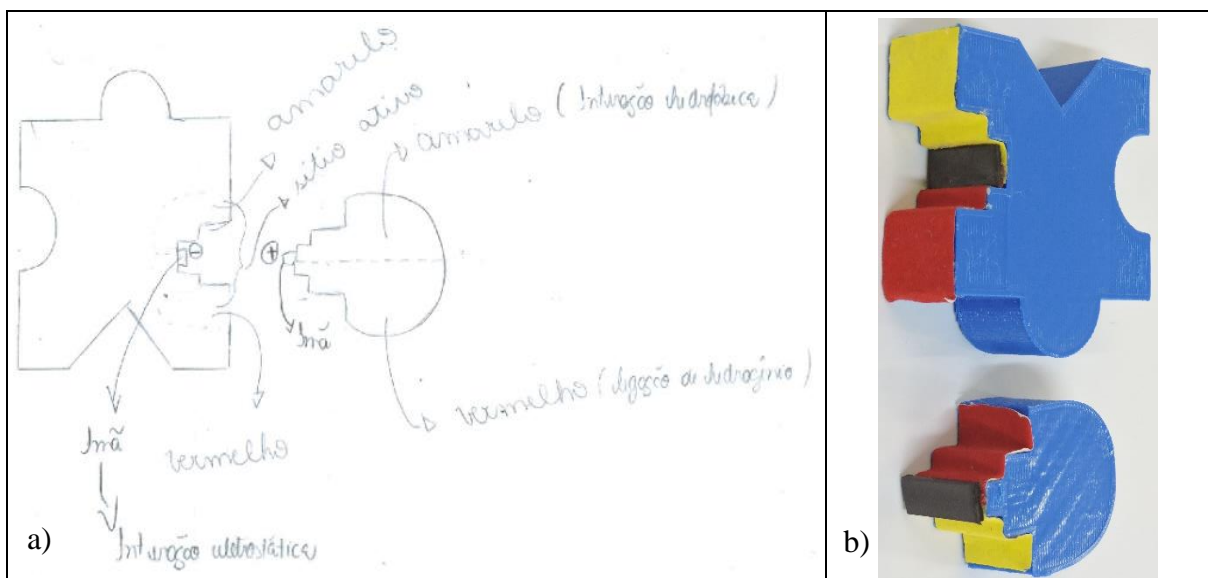
Fonte: Dados da pesquisa.

Essas afirmações sugerem que novas informações foram incorporadas aos conhecimentos prévios na estrutura cognitiva dos estudantes no decorrer do processo de modelagem 3D. Além disso, os modelos mentais foram reconstruídos, no sentido que as novas informações a respeito do modelo de interação enzima-substrato podem ter contribuído para a construção de significado pelos estudantes. Contudo, de acordo com Ausubel (2002) e Moreira (2009) estes modelos mentais podem ou não se manter estáveis na memória de trabalho dos estudantes³¹.

Também obtivemos resultados positivos em relação a elaboração dos modelos 3D pelos integrantes do grupo 3. De maneira geral, o grupo considerou a maioria dos aspectos químicos fundamentais para a compreensão do conceito de interação enzima-substrato (Figura 23a). O modelo 3D impresso (Figura 23b) foi adaptado pelo grupo, a fim de representar os elementos codificados no desenho.

³¹ Para a investigação da possível retenção significativa dos conceitos na memória destes estudantes resolvemos aplicar um questionário (semelhante ao inicial) quatro meses depois do encerramento do estudo.

Figura 23 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E6 e b) Modelo 3D impresso reelaborado escolhido pelo Grupo 3



Fonte: Dados da pesquisa.

Nestes modelos, diferentes interações químicas foram consideradas, tais como: as interações eletrostáticas (uso de ímãs para representar), interações hidrofóbicas (representadas em amarelo) e ligações de hidrogênio (representadas em vermelho). De acordo com a explicação do grupo, as diferentes “cavidades” foram utilizadas para representar o local específico para interação enzima-substrato. Três elementos não foram codificados nos modelos elaborados, são eles: mudança conformacional, a atividade cíclica da enzima e as transformações químicas.

Entretanto, quando pedimos a explicação da interação enzima-substrato utilizando o modelo, os estudantes reconhecem estes aspectos como sendo limitações e propõem possíveis alternativas: “A atividade cíclica eu iria propor mais modelos, mais representações, representando as fases das reações, por exemplo, ...um produto que teria uma conformação diferente do substrato e uma enzima com a mesma conformação inicial. A mudança conformacional poderia ser superada com o uso de um modelo maleável” (E4).

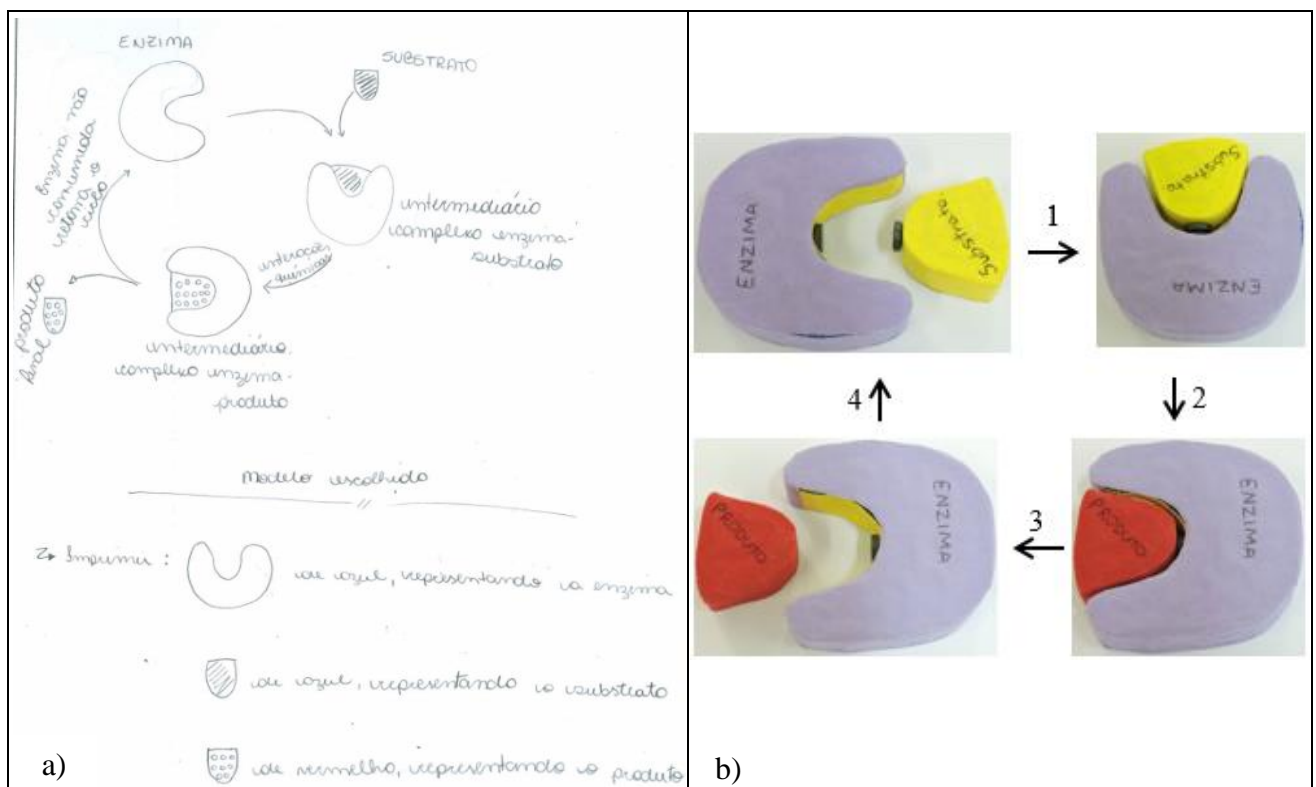
Observamos a ocorrência deste fato quando um dos integrantes do grupo, durante a atividade de teste e avaliação dos modelos, relatou: “eu pensei nas interações químicas e nas transformações químicas, mas não representei no desenho. A mudança conformacional eu pensei em representar com um formato triangular” (E4). Entendemos que, muitas vezes, os estudantes conseguem explicar o conceito, no entanto, não conseguem expressar suas ideias no desenho. Sendo assim, ainda que alguns elementos não tenham sido representados nos modelos

3D impressos, consideramos que a participação na elaboração das representações pode ter contribuído para a construção de significado pelos estudantes. Como apontam Prain e Tytler (2012), a construção de representações por meio de desenhos é uma prática que possibilita a aquisição de significado quando o aprendiz constrói e interpreta suas próprias representações.

Em contrapartida, os resultados dos modelos 3D impressos elaborados pelo grupo 4 demonstram que os modelos mentais apresentam poucas modificações quando comparados aos modelos iniciais. Há uma interpretação equivocada em que os membros do grupo, ao serem questionados quanto ao uso do ímã (Figura 24b), não conseguiram explicar quimicamente, apenas diziam “o ímã representa interações de polaridade” (G4). Este tipo de resposta caracteriza uma controvérsia na compreensão dos conceitos de interações eletrostáticas e interações “polares”, os quais podem indicar uma falha na conexão entre o conceito das interações eletrostáticas com o conceito das interações hidrofóbicas e hidrofílicas (interações que permitem que a atividade enzimática ocorra em meio aquoso).

Como representado na Figura 24a, alguns elementos não codificados no desenho inicial foram considerados no modelo expresso escolhido, porém, não representaram a mudança conformacional no modelo 3D impresso (Figura 24b).

Figura 24 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E10 e b) Modelo 3D impresso reelaborado escolhido pelo Grupo 4

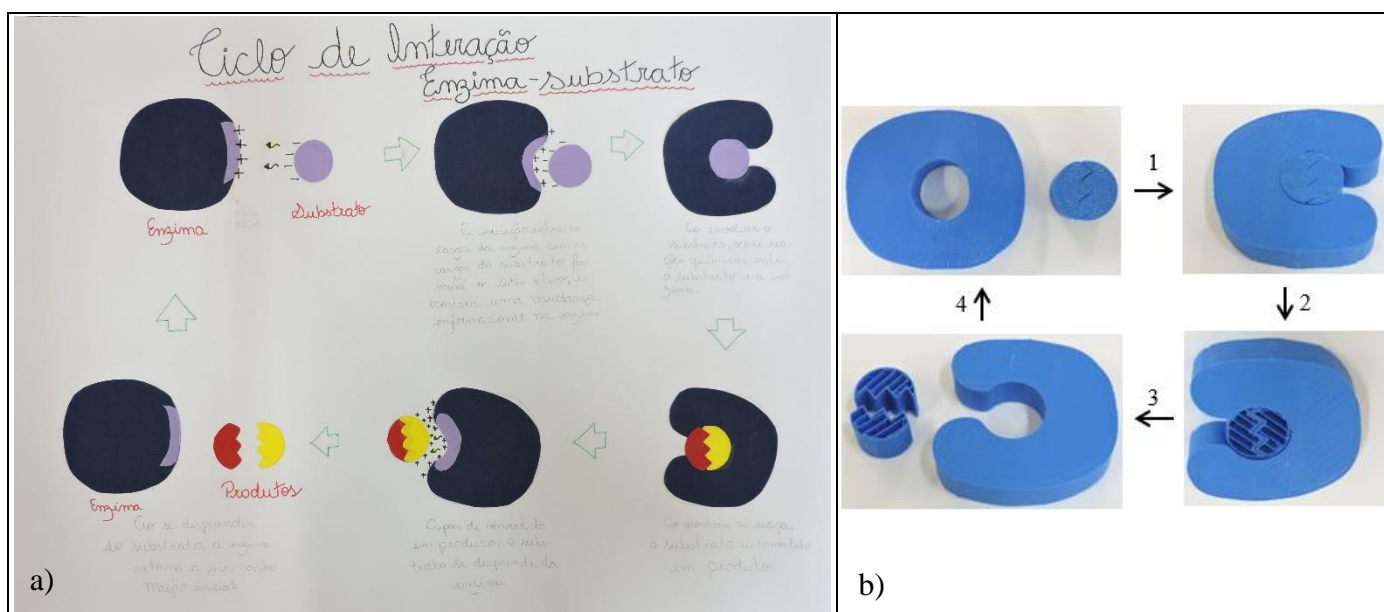


Fonte: dados da pesquisa.

Como apresentado nas Figuras 24a e 24b, os membros do grupo 4 permaneceram representando a interação enzima-substrato pelo modelo chave-fechadura. Diante disso, ressaltamos que algumas dificuldades de aprendizagem podem não ter sido superadas ao longo do processo de construção dos modelos, no sentido de possibilitar a transição entre os níveis representacionais.

Por outro lado, o grupo 5, assim como o grupo 2, representou a interação enzima-substrato pelo modelo de ajuste induzido, estes estudantes apresentaram uma conexão das principais ideias trabalhadas durante as atividades de modelagem 3D e construíram modelos coerentes com a explicação do fenômeno em questão. Estes estudantes utilizaram cartolina para representar “o ciclo de interação enzima-substrato” (Figura 25a). Os modelos 3D impressos reelaborados representam o ciclo da atividade enzimática, sobretudo, a mudança conformacional na região do sítio ativo da enzima (Figura 25b).

Figura 25 – a) Representação da interação enzima-substrato do estudante E11 e b) Modelo 3D impresso reelaborado escolhido pelo Grupo 5



Fonte: dados da pesquisa.

Legenda: descrição da escrita da Figura 25a: “as interações entre as cargas da enzima com as cargas do substrato formarão o sítio ativo, e ocorrerá uma mudança conformacional na enzima. Ao envolver o substrato, ocorre reações químicas entre o substrato e a enzima. Ao acontecer as reações o substrato é convertido em produto. Depois de convertido em produto, o substrato se desprende da enzima. Ao se desprender do substrato, a enzima retorna a sua conformation inicial” (E11, Grupo 5).

Os estudantes reutilizaram os modelos 3D elaborados na etapa inicial da modelagem e pensaram em utilizar uma peça diferente (modelo formato circular fechado³²), a qual foi utilizada para representar a enzima antes da interação. Estes estudantes construíram explicações mais coerentes sobre o fenômeno estudado, como descrito na representação da (Figura 25a): “a interações entre as cargas da enzima com as cargas do substrato formará o sítio ativo, e ocorrerá uma mudança conformacional na enzima. Ao envolver o substrato, ocorre reações químicas entre o substrato e a enzima. Ao acontecer as reações o substrato é convertido em produto. Depois de convertido em produto, o substrato se desprende da enzima. Ao se desprender do substrato, a enzima retorna a sua conformação inicial” (E11).

Como evidenciado nesta fala, sugerimos que as informações sobre as interações eletrostáticas, a mudança conformacional da enzima, as transformações químicas e a atividade cíclica da enzima foram incorporadas na estrutura cognitiva destes estudantes. De acordo com o mapa conceitual (Figura 26), sugerimos que este padrão de resposta apresenta a relação entre os conhecimentos fundamentais sobre a interação enzima-substrato; o que leva a crer que as atividades de modelagem tridimensional contribuíram para a compreensão mais adequada do conceito científico escolar proposto.

O mapa conceitual tem como objetivo apresentar uma visão geral dos conceitos centrais, bem como as relações necessárias para a compreensão da interação enzima-substrato pelos estudantes. A organização do mapa representa os conhecimentos básicos como, por exemplo, a composição estrutural das enzimas/proteínas, bem como os conhecimentos mais específicos como, por exemplo, o mecanismo de ação das enzimas. Apoiamos nos estudos de Sangiogo e Zanon (2012) para resumir os conceitos envolvidos na compreensão e explicação da interação enzima-substrato.

³² O estudante E11 durante a atividade de reelaboração dos modelos, explicou o formato desejado da enzima, entretanto, o modelo 3D impresso não era compatível com o que ele havia sido pensado. Os membros do grupo optaram em utilizar o mesmo modelo, já que não alteraria a explicação do conceito em questão.

O conjunto de dados obtidos durante as atividades de modelagem tridimensional podem indicar a reorganização cognitiva do conceito abordado, de modo que novas ideias como, por exemplo, se “a visão dinâmica da interação enzima-substrato” foi adquirida pelos estudantes. Nesse aspecto, sugerimos que os modelos 3D impressos elaborados foram relacionáveis com os conhecimentos prévios especificamente relevantes na estrutura cognitiva destes estudantes, possibilitando a construção de novos significados sobre a interação enzima-substrato.

Nesta perspectiva, os modelos 3D impressos podem ser utilizados como recursos para o ensino e a aprendizagem significativa da “interação enzima-substrato” e essa afirmação toma como base o que aponta Ausubel (2002), ao dizer que não devemos considerar apenas, intencionalmente e substancialmente, o material a ser utilizado em atividades de ensino, mas conhecer a estrutura cognitiva dos estudantes para que o novo material seja relacionável com o os conceitos subsunçores preexistentes na estrutura cognitiva do estudante.

5.3 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO FINAL

Buscamos na fase final da pesquisa, informações sobre a organização da estrutura cognitiva dos estudantes, sobretudo, investigar as contribuições do uso dos modelos 3D impressos para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato. Dessa forma, aplicamos um questionário no final do semestre, logo após o término das atividades de modelagem com os 15 licenciandos em Química. O questionário final (Apêndice B) era composto de 4 questões com objetivos específicos que são descritos no Quadro 5.

Quadro 5 – Questões do questionário final e seus respectivos objetivos

(Continua)

Questões	Objetivos
1. Como você explicaria o conceito de interação enzima-substrato após ter participado do processo de construção do modelo concreto?	1. Investigar como os estudantes explicam o conceito de interação enzima-substrato após ter participado do processo de construção dos modelos 3D.
2. Quais aspectos químicos interferem na interação enzima-substrato?	2. Investigar se os estudantes conseguem identificar aspectos químicos comuns na interação enzima-substrato.
3. Comente sobre o uso do modelo “chave-fechadura” para ensinar a interação enzima-substrato.	3. Investigar a percepção dos estudantes sobre o uso do modelo chave-fechadura para explicar a interação enzima-substrato.

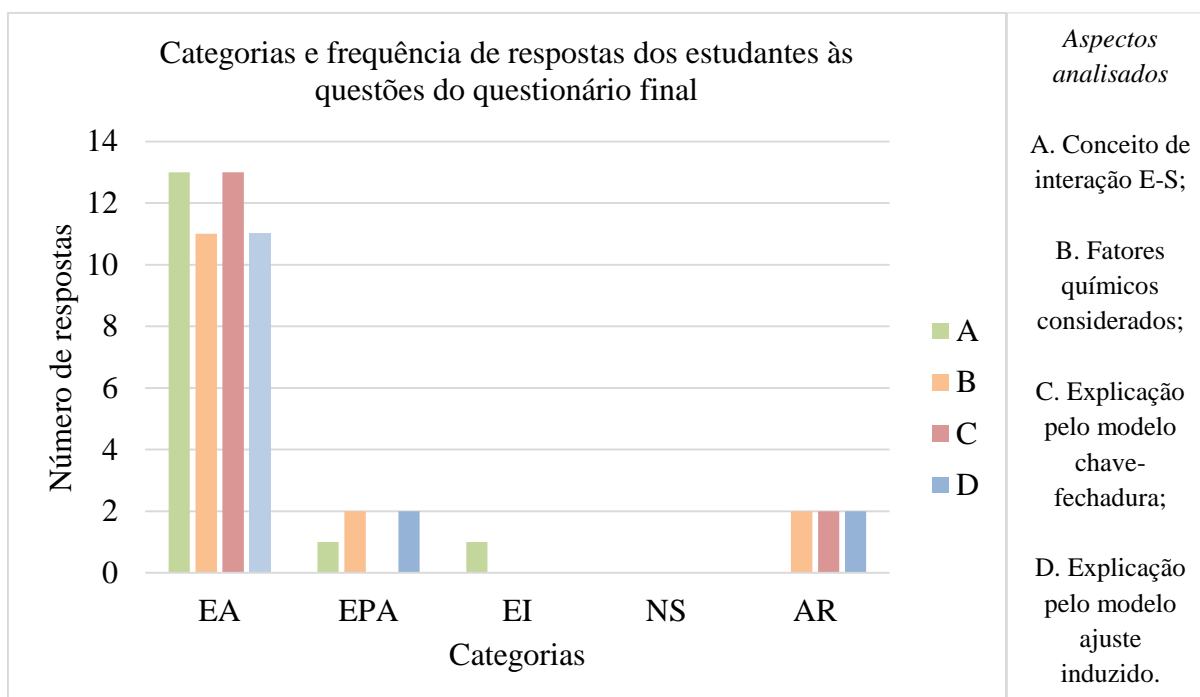
(Conclusão)

Questões	Objetivos
4. Comente sobre o uso do modelo “ajuste induzido” para ensinar a interação enzima-substrato.	4. Investigar a percepção dos estudantes sobre o uso do modelo de ajuste induzido para explicar a interação enzima-substrato.

Fonte: da autora.

O resultado da análise do questionário final possibilitou o cruzamento entre os dados obtidos no questionário inicial. Além disso, permitiu verificar indícios da aprendizagem significativa do conceito analisado. As categorias foram elaboradas a partir do tratamento e análise das informações obtidas através dos questionários. Na Figura 27 apresentamos a categorização das respostas dos estudantes com relação aos aspectos do conhecimento químico analisados no questionário final.

Figura 27 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do questionário final



Fonte: dados da pesquisa.

Legenda: categoria EA- explica de forma adequada, EPA- explica de forma parcialmente adequada, EI- explica de forma inadequada, NS- não sabe explicar ou não conhece e AR- ausência de resposta.

Em relação ao gráfico, notamos um aumento da frequência de respostas à categoria “explica de forma adequada” e uma diminuição da frequência de respostas à categoria “explica de forma inadequada”. O aumento da frequência de explicações adequadas pode indicar que a maioria das dificuldades de aprendizagem da interação enzima-substrato foram sendo superadas ao longo das atividades de modelagem. Outra informação relevante é que ocorreu

um aumento expressivo da frequência de explicações utilizando o modelo de ajuste induzido em relação à frequência de respostas do questionário inicial para a mesma categoria analisada.

Neste momento, utilizaremos excertos das respostas dos estudantes para exemplificar as categorias obtidas (Quadro 6), em relação aos aspectos analisados. Em seguida, utilizaremos argumentos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), na tentativa de aproximá-la com as etapas da modelagem propostas na pesquisa.

Quadro 6 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do questionário final

(Continua)

	Categoria de Significado	Evidências nas respostas
Conceito de interação E-S	Explica de forma adequada	“A enzima ela possui uma conformação, na qual irá mudar quando ela se aproxima de um substrato. Quando ela interage com o substrato, além de ocorrer uma mudança conformacional, ocorre reações químicas entre a enzima e o substrato, na qual transformará o substrato em produto. Após a formação do produto, a enzima o libera, e ela volta ao seu formato original” (E11).
	Explica de forma parcialmente adequada	“Eu penso sobre o conceito de interação entre enzima e substrato, como sendo uma interação química que ocorre entre ambos” (E5).
	Explica de forma inadequada	“A interação enzima-substrato é uma interação que a enzima se liga a um certo substrato (específico da enzima ou não) e logo após se separa formando o produto” (E14).
Fatores químicos considerados na interação E-S	Explica de forma adequada	“A interação enzima-substrato ocorre de forma dinâmica, havendo diversas interações químicas e/ou físicas...” (E3).
	Explica de forma parcialmente adequada	“Interações químicas principalmente” (E12).
	Explica de forma inadequada	Não houve respostas classificadas.
- Interação E-S pelo modelo “chave fechadura”	Explica de forma adequada	“Ele pode ser utilizado para se apresentar a especificidade da enzima, mas possui muitas limitações” (E4).
	Explica de forma parcialmente adequada	Não houve respostas classificadas.
	Explica de forma inadequada	Não houve respostas classificadas.

(Conclusão)

	Categoria de Significado	Evidências nas respostas
Interação E-S pelo modelo “ajuste induzido”	Explica de forma adequada	“Este modelo permite ensinar que há ocorrência de mudança conformacional na interação ES” (E6).
	Explica de forma parcialmente adequada	“Este modelo seria o mais adequado por ele representar os aspectos de interferência química na interação enzima-substrato” (E8).
	Explica de forma inadequada	Não houve respostas classificadas.

Fonte: dados da pesquisa.

Pedimos aos estudantes que descrevessem como entendiam o conceito de interação enzima-substrato após ter participado do processo de construção do modelo concreto. Ao contrário do que observamos anteriormente, 13 estudantes explicaram de forma adequada a interação entre a enzima e o substrato. Um exemplo de resposta seria “A interação enzima-substrato ocorre por meio de interações químicas entre o substrato e uma região específica da enzima (sítio-ativo). Ao interagir com o substrato, há o rearranjo conformacional da enzima. Há a transformação química do substrato em produto e a enzima volta a sua conformação inicial” (E4). É possível perceber que o estudante identifica os principais aspectos do conhecimento químico necessários para a compreensão do conceito.

Este tipo de resposta pode demonstrar que novas informações foram incorporadas na estrutura cognitiva dos estudantes, de forma não arbitrária e substantiva. Podemos identificar que os estudantes conseguem relacionar e compreender que a interação enzima-substrato ocorre de forma dinâmica, rompendo com ideia do “encaixe físico mecânico”. O excerto a seguir exemplifica esse padrão de resposta “A interação enzima-substrato ocorre de forma dinâmica, havendo diversas interações químicas e/ou físicas...” (E3).

Em relação aos aspectos químicos considerados na interação enzima-substrato (categoria B), os estudantes tendem a reconhecer os aspectos macroscópicos, por exemplo mudança de temperatura e pH, como também os aspectos submicroscópicos, como as interações eletrostáticas, mudanças de conformação e as estruturas químicas da enzima e do substrato. Um exemplo de resposta em que os estudantes relacionam os aspectos macroscópicos e microscópicos da interação, seria: “Interações eletrostáticas, estruturas químicas das espécies, ligações químicas (covalentes, iônicas e ligações de hidrogênio), mudança conformacional e outros fatores externos como pH, a concentração e temperatura” (E1).

Quando investigamos a percepção dos estudantes sobre o uso do modelo chave-fechadura para explicar a interação enzima-substrato, 13 estudantes reconheceram as limitações

deste modelo e propuseram o seu uso para o ensino da “especificidade” da enzima por seu substrato. Das respostas obtidas identificamos que os estudantes apresentaram uma percepção adequada em relação ao uso do modelo chave-fechadura, como: “Ele pode ser utilizado para se apresentar a especificidade da enzima, mas possui muitas limitações” (E4).

Este tipo de resposta demonstra que os futuros professores passaram a considerar a natureza destes modelos, no sentido de compreender que os modelos “não são a realidade”, “não são cópias da realidade” e “têm limitações”, como discutido por Justi (2010, p. 211), como sendo um dos principais elementos para a compreensão de modelos na ciência.

Além disso, os estudantes reconheceram que o modelo chave-fechadura não aborda toda a complexidade da interação, como apresentamos no seguinte excerto: “O modelo chave-fechadura é uma representação mecânica e não permite a abordagem da mudança conformacional que ocorre na interação E-S” (E6). Esta ideia dialoga com Marzzoco e Torres (2007, p. 58) quando afirmam que a representação da interação enzima-substrato não deve ser entendida como um modelo “rígido” de chave-fechadura.

Esta resposta (E6) destaca que o processo de modelagem 3D possibilitou uma modificação (assimilação) do significado relevante das ideias prévias sobre o modelo chave-fechadura, construindo um novo produto com um novo significado para o estudante, o qual Ausubel (2002) define como sendo o produto interacional. Sendo assim, a percepção apresentada pelo estudante reflete em um novo significado para o conceito de interação enzima-substrato.

Quanto à percepção dos estudantes sobre o uso do modelo de ajuste induzido para explicar a interação enzima-substrato, verificamos que a maioria das respostas obtidas estão organizadas na categoria EA (explica de forma adequada). A partir da análise destas respostas foi possível identificar que os estudantes apresentam a percepção de que ocorre mudança conformacional da enzima induzida pela interação com o substrato, como: “Quando o substrato se aproxima do sítio ativo da enzima, ela muda sua conformação” (E9).

Estes são alguns exemplos de respostas em que os estudantes apontam as limitações dos modelos 3D elaborados e utilizam o modelo conceitual adequado nas suas explicações sobre o conceito de interação enzima-substrato. Os resultados demonstram que as etapas propostas nas atividades de modelagem contribuíram para reconciliação integradora. Além disso, possibilitou a reelaboração dos modelos 3D, de modo que os licenciandos repensassem o conceito de interação enzima-substrato durante o processo de modelagem, progredindo na diferenciação progressiva dos conceitos fundamentais para a compreensão do fenômeno abordado.

Destacamos que a participação dos estudantes nas atividades de modelagem, sobretudo nas etapas de avaliação e testes dos modelos, contribuiu para o entendimento das limitações dos modelos 3D elaborados. Como afirmam Justi e Gilbert (2003), ao conhecer as abrangências e limitações do modelo, o estudante atribui significado, de forma a identificar a coerência entre o modelo e seus objetivos, no sentido de possibilitar ao estudante a utilização do modelo em diferentes situações. Neste contexto, os futuros professores conseguiram entender os aspectos que estão limitados nos modelos 3D, sendo fundamental para a compreensão da interação enzima-substrato.

Além disso, como apontam os estudos de Borssoi e Almeida (2013) e Souza e Justi (2011), as etapas de teste e avaliação propostas nas atividades de modelagem contribuem para a diferenciação progressiva dos conceitos, bem como para a reconciliação integradora. Dessa forma, entendemos que estas etapas foram necessárias para a compreensão do conceito de interação enzima-substrato.

5.3.1 Análise do relato pessoal

Com o objetivo de ampliar a investigação das informações sobre a participação dos estudantes nas atividades de modelagem, também optamos por utilizar o relato pessoal dos licenciandos. Quinze estudantes registraram seus relatos pessoais. Este relato tinha a seguinte proposta: “Faça um relato das suas impressões sobre o uso da impressora 3D para o ensino de química”.

Utilizamos para a análise dos relatos pessoais o software NVivo 12 Pro® versão para estudantes, sob a licença nº NVD12.LZ000.BH020.1RE87.1D87N. Para esta análise, os relatos pessoais foram transcritos e organizados pela pesquisadora. Retiramos do texto transcrito as conjunções gramaticais, por exemplo “como”, “que”, “pois”, “mas”. Também excluimos as palavras que apareciam na pergunta (impressora, ensino e química). Em seguida, analisamos a frequência de palavras identificadas nas respostas dos estudantes pelo software. Apresentamos, na Figura 28 a frequência de palavras encontradas nos relatos por meio da Nuvem de Palavras.

Figura 28 – Nuvem de palavras das respostas dos estudantes referentes ao relato pessoal



Fonte: da autora.

Verificamos, a partir da análise das informações, a relação entre as palavras com maior frequência nos relatos com as impressões dos estudantes sobre o uso da impressora 3D para o ensino de Química. Vale ressaltar que, dentre as possibilidades de discussão, esforçamos para compreender o contexto da palavra “modelo”, bem como a sua associação com a palavra “recurso” a partir da análise da frequência. Dessa forma, observamos que a maioria dos estudantes relacionam o modelo 3D como sendo um recurso que pode ser utilizado por professores para auxiliar os alunos na compreensão de conceitos ou conteúdos químicos abstratos. Um dos excertos desses relatos exemplificam essa afirmação: “A impressora 3D permite a criação de modelos que podem ser utilizados como recurso pedagógico para o ensino de Química, visto que esta é uma área que abrange diversos conceitos abstratos e que muitos alunos encontram dificuldade de compreensão” (E4).

Estes licenciandos também relacionam o uso da impressora 3D para superar a dificuldade dos alunos, sobretudo a dificuldade de construir representações. Tal constatação foi devido a frequência das palavras “dificuldade”, “construção/criação” e “representações”. Como apresentamos nos seguintes excertos: “A impressora 3D poderia ser utilizada por professores, tanto do Ensino Médio, quanto do Ensino Superior...” (E11); “A impressora 3D se mostrou uma ferramenta útil para o ensino pois ela permite a construção de modelos bem complexos que auxiliam na visão tridimensional do aluno, além de ser um produto durável e permitir uma

infinidade de construção de modelos, desde modelos simples, até modelos mais elaborados” (E3).

Os tipos de relatos analisados vão ao encontro das discussões apresentadas neste trabalho e sob a perspectiva de Raupp (2015), quando afirma que o uso da impressão 3D pode facilitar a compreensão dos estudantes, por meio do desenvolvimento das habilidades visuais, e, sobretudo estimular a experiência prática com a visão tridimensional.

Neste sentido, estes relatos reforçam nossa perspectiva em relação ao uso da impressão 3D para o ensino e a aprendizagem de química, como apresentamos no excerto: “O uso da impressora 3D é um recurso muito útil para o ensino de Química, pois possibilita auxiliar no ensino de vários conteúdos... e também faz com que o aluno tenha um melhor entendimento dos fenômenos submicroscópicos” (E13). Além disso, estes estudantes relatam contribuições da modelagem para o ensino de Química: “O modelo também possibilita ao professor construir o conhecimento químico com os alunos, pois o aluno pode desenhar o seu próprio modelo que será impresso pelo professor, e em seguida analisá-lo e se questionar se aquele modelo é o ideal para explicar o conteúdo químico, e logo em seguida possibilitá-lo reconstruir um novo modelo, com intuito de consertar as suas limitações” (E2).

Também constatamos, que os licenciandos relacionam o uso do modelo 3D à palavra “limitação” como, por exemplo a rigidez do material e os custos para produção dos modelos 3D. Um dos excertos dos relatos exemplifica essa afirmação: “Após ter contato com os modelos impressos, foi observado que os objetos confeccionados são rígidos, isto é uma limitação quando é preciso representar algo móvel e flexível” (E1).

As informações obtidas por meio do relato pessoal foram essenciais para a investigação da participação dos estudantes nas atividades de modelagem proposta e esclarecer sobre as ideias que estes estudantes têm em relação ao uso dos modelos 3D e da modelagem. Justi (2010) e Taber (2013) estão de acordo quando afirmam que estes tipos de estudos são extremamente necessários para a compreensão do processo de construção de modelos na ciência.

5.4 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO PARA TESTE DE RETENÇÃO

Tomando como referencial os trabalhos de Ausubel (2002) e Moreira (2009), apontamos que, para verificar a ocorrência da aprendizagem significativa da interação enzima-substrato era necessário investigar o processo de modificação, bem como a estabilidade e o tempo de

retenção do conceito na estrutura cognitiva dos licenciandos. Para obter essas informações reaplicamos o questionário final quatro meses após o término das atividades de modelagem. Os quinze estudantes aceitaram participar e responderam o questionário para teste de retenção (Apêndice B). O questionário era composto de 5 questões e os objetivos específicos estão descritos no Quadro 7:

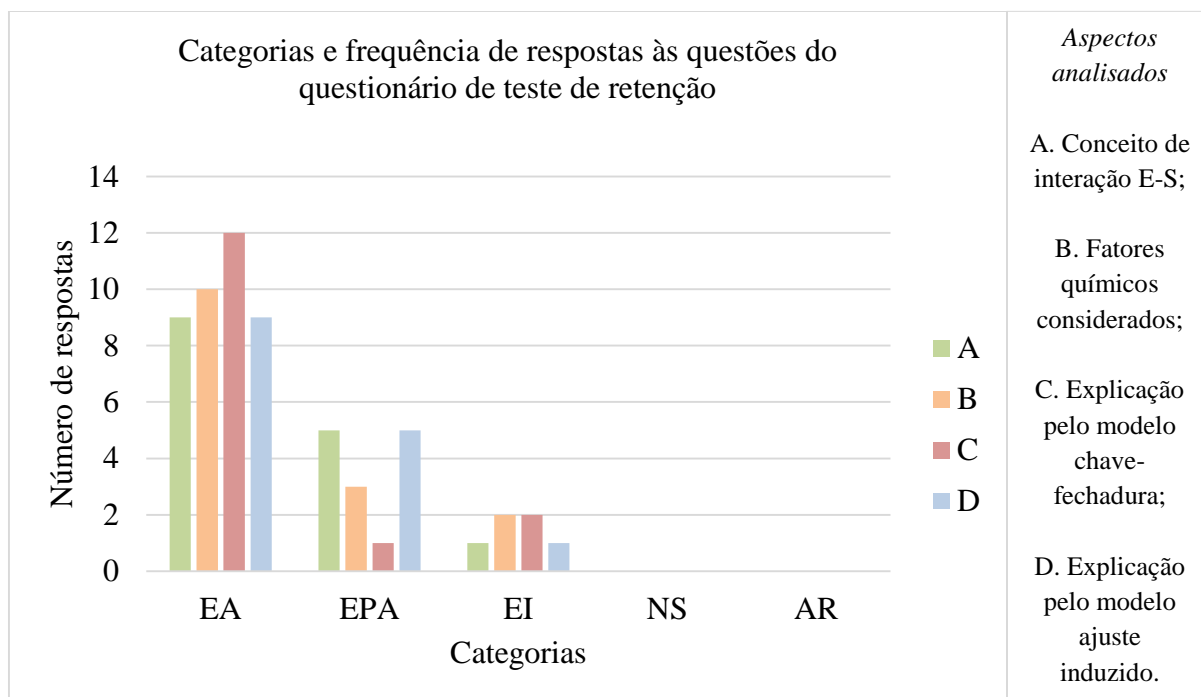
Quadro 7 – Questões do questionário de teste de retenção e seus respectivos objetivos

Questões	Objetivos
1. Explique o conceito de interação enzima-substrato.	1. Investigar se os estudantes conseguem explicar o conceito de interação enzima-substrato após o período de quatro meses.
2. Há aspectos químicos que interferem na interação enzima-substrato? Comente.	2. Investigar se os estudantes conseguem identificar aspectos químicos comuns na interação enzima-substrato após o período de quatro meses.
3. Comente sobre o uso do modelo “chave-fechadura” para ensinar a interação enzima-substrato.	3. Investigar a percepção dos estudantes sobre o uso do modelo chave-fechadura para explicar a interação enzima-substrato após o período de quatro meses.
4. Comente sobre o uso do modelo “ajuste induzido” para ensinar a interação enzima-substrato.	4. Investigar a percepção dos estudantes sobre o uso do modelo de ajuste induzido para explicar a interação enzima-substrato após o período de quatro meses.

Fonte: da autora.

O resultado da análise do questionário de teste de retenção possibilitou identificar a presença ou ausência de alguns subsunçores na estrutura cognitiva, que podem sugerir retenção (aprendizagem significativa) ou esquecimento do conceito de interação enzima-substrato durante um período de tempo de quatro meses após o estudo. Na Figura 29 apresentamos a categorização das respostas dos estudantes com relação aos aspectos do conhecimento químico analisados.

Figura 29 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do teste de retenção



Fonte: dados da pesquisa.

Legenda: categoria EA- explica de forma adequada; EPA- explica de forma parcialmente adequada; EI- explica de forma inadequada; NS- não sabe explicar ou não conhece; e AR- ausência de resposta.

Diante da análise dos questionários, notamos que a frequência de respostas classificadas na categoria EA (explica de forma adequada) em relação ao aspecto A (conceito de interação enzima-substrato) se manteve parcialmente elevada após o período de quatro meses (frequência do número de respostas adequadas diminuiu de 13 para 9). De modo semelhante observamos que a frequência de respostas da categoria EA em relação ao aspecto D (explicação pelo modelo ajuste induzido) também manteve razoavelmente elevada (frequência do número de respostas adequadas diminuiu de 11 para 9). Ainda sobre a categoria EA, notamos que a frequência de respostas em relação aos aspectos B (fatores químicos considerados) e C (explicação pelo modelo chave-fechadura) apresentaram uma pequena variação (frequência do número de respostas adequadas diminuiu de 11 para 10 e 13 para 12, respectivamente).

Esses dados podem indicar uma retenção satisfatória e estabilidade do conceito de interação enzima-substrato na memória de trabalho dos estudantes. Além disso, os resultados do questionário de teste de retenção podem sugerir a incorporação/retenção significativa do conceito de interação enzima-substrato à estrutura cognitiva dos estudantes. Isso com base nos resultados obtidos no período de tempo analisado, sobretudo reportando à Teoria da Aprendizagem Significativa.

A partir dos excertos das respostas dos estudantes buscamos exemplificar as categorias obtidas (Quadro 8), em relação aos conceitos analisados.

Quadro 8 – Categorização das respostas dos estudantes às questões do questionário de teste de retenção (Continua)

	Categoria	Evidências nas respostas
Conceito de interação E-S	Explica de forma adequada	“A interação ocorre em uma região específica da enzima (sítio ativo), o qual sofre uma mudança conformacional ao interagir com o substrato. O substrato se transforma em um produto e a enzima volta a sua conformação inicial” (E4).
	Explica de forma parcialmente adequada	“O conceito é que uma enzima reage/interage com um substrato, no qual há um sítio ativo presente, modificando esta substância formando novos produtos” (E8).
	Explica de forma inadequada	“A enzima que tem afinidade pelo substrato, se liga a ele e reage formando um produto e se desligando do substrato” (E9).
	Não sabe explicar ou não conhece	Não houve respostas classificadas.
Fatores químicos considerados na interação E-S	Explica de forma adequada	“De acordo com o caráter químico das espécies envolvidas (enzimas e substratos) as reações podem ou não ocorrer. Isso pode depender da estrutura das substâncias, tipos de substâncias, pH do meio, etc” (E1).
	Explica de forma parcialmente adequada	“Sim, como as cargas que envolvem uma ligação química” (E14).
	Explica de forma inadequada	Sim, pois a interação ocorre através de ligações químicas” (E13).
	Não sabe explicar ou não conhece	Não houve respostas classificadas.
- Interação E-S pelo modelo “chave fechadura”	Explica de forma adequada	“O modelo chave-fechadura permite o início da discussão sobre o tema enzima-substrato, entretanto, como todo modelo ele possui limitações, pois não fala da possível mudança estrutural que o substrato pode sofrer até chegar em contato com o sítio ativo da enzima, as interações que podem ocorrer, orientação e etc. Entretanto, este mesmo modelo seria para falar de sítio ativo, especificidade enzimática e orientação espacial. Vale lembrar também que o modelo chave-fechadura não permite ter a noção da complexidade estrutural de uma enzima” (E3).

(Conclusão)

	Categoria	Evidências nas respostas
- Interação E-S pelo modelo “chave fechadura”	Explica de forma parcialmente adequada	“O professor deve usar modelos para o ensino do modelo chave-fechadura, pois a utilização dele facilita a compreensão dos alunos em relação a sua interação que ocorre por meio da mudança conformacional da enzima. Sendo assim, modificando as propriedades químicas do substrato o transformando em produto” (E2).
	Explica de forma inadequada	“É um modelo que auxilia a aprendizagem do aluno, mas de certa forma é um modelo que não traz tudo que o aluno precisa saber” (E9).
	Não sabe explicar ou não conhece	Não houve respostas classificadas.
Interação E-S pelo modelo “ajuste induzido”	Explica de forma adequada	“Com o modelo de ajuste induzido, o professor conseguiria ensinar aos alunos o fato de há um “ajuste” da enzima quando ela entra em contato com o substrato, para ocorrer uma transformação química do substrato em produto” (E11).
	Explica de forma parcialmente adequada	“Relacionando com o modelo chave-fechadura, o modelo ajuste induzido seria o melhor, pois a enzima irá se ajustar ao substrato” (E14).
	Explica de forma inadequada	“É o modelo mais adequado, pois através dele é possível observar e discutir todos os fatores que essa interação necessita para ocorrer, perfeitamente” (E10).
	Não sabe explicar ou não conhece	Não houve respostas classificadas.

Fonte: dados da pesquisa.

Igualmente, após quatro meses pedimos que os estudantes descrevessem como entendiam o conceito de interação enzima-substrato. Observamos que 9 estudantes explicaram o conceito de forma adequada, assim como apontam Linenberger e Bretz (2014, 2015) e evidenciado no excerto a seguir: “A enzima quando entra em contato com o substrato faz com que ocorra uma interação entre ambos, fazendo com que ocorra uma mudança conformacional na enzima para que ela faça as transformações químicas no substrato para convertê-lo em produto” (E11). Notamos que a maioria dos estudantes considerou o conceito como sendo uma “interação” entre a enzima e o substrato, apresentando aspectos químicos desse processo dinâmico, no qual ocorrem mudanças na conformação da enzima e transformações químicas do substrato em produtos.

Quanto aos aspectos químicos considerados na interação enzima-substrato, 10 estudantes responderam de maneira adequada, como ilustra o trecho a seguir: “Temperatura, concentração... se aumentarmos a temperatura a enzima pode se modificar, não ocorrendo a interação entre a enzima e o substrato, o mesmo pode ocorrer com a concentração e a temperatura que podem influenciar na ativação da enzima” (E7). Entendemos com esta citação que estes estudantes conseguiram explicar, sobretudo relacionar a influência dos aspectos macroscópicos/observáveis da interação (pH, temperatura e concentração) com os aspectos submicroscópicos/não observáveis (estrutura química das enzimas e tipos de interações químicas).

Em relação a explicação da interação enzima-substrato pelo modelo chave-fechadura, 12 estudantes responderam de forma adequada, como demonstra o trecho a seguir: “O modelo chave-fechadura possui algumas limitações, na qual o professor na hora que for utilizá-lo deverá atentar-se. Uma de suas limitações seria o fato de que com esse modelo o professor não conseguiria ensinar a mudança conformacional que ocorre com a enzima no momento em que ela entra em contato com o substrato” (E11).

O entendimento do modelo chave-fechadura pelos futuros professores de Química como sendo um recurso viável para o processo de ensino e aprendizagem, desde que o professor esclareça suas limitações, tal como descrito no excerto: “O modelo pode ser um recurso bastante válido para o processo de ensino e aprendizagem, entretanto é sempre necessário esclarecer as limitações deste para que os alunos não interpretem o modelo como verdade absoluta” (E8), também pode sugerir contribuições à respeito da reflexão para prática docente. Frente a isso consideramos que a concepção dos estudantes em relação à natureza dos modelos na Ciência também avançou em termos de aprendizagem, de modo que novas informações foram estruturadas e incorporadas ao conceito mais geral da interação enzima-substrato, resultando na construção ativa de novos significados, assim como proposto por Ausubel (2002).

No que diz respeito à compreensão da interação enzima-substrato pelo modelo de ajuste induzido, verificamos que 9 estudantes conseguiram explicar de forma adequada, como ilustra esse trecho: “Com o modelo de ajuste induzido, o professor conseguiria ensinar aos alunos o fato de que há um “ajuste” da enzima quando ela entra em contato com o substrato, para ocorrer uma transformação química do substrato em produto” (E11). Essas informações também sugerem que a maioria dos conceitos aprendidos durante o processo de modelagem 3D permaneceram estáveis na memória de trabalho destes estudantes e relacionáveis aos conceitos prévios especificamente relevantes na estrutura cognitiva (Ausubel, 2002).

Em contrapartida, observamos que um estudante apresentou em sua resposta uma ideia equivocada sobre o uso do modelo de ajuste induzido, como exposto no seguinte excerto: “É o modelo mais adequado, pois através dele é possível observar e discutir todos os fatores que essa interação necessita para ocorrer, perfeitamente” (E10). De todas as respostas, consideramos pertinente a discussão a respeito do uso da palavra “perfeitamente”. Nesse caso, assumimos que houve uma compreensão inadequada sobre a natureza do modelo de ajuste induzido, assim como proposto por Justi (2010), quando afirma que um modelo jamais deve ser considerado como sendo uma representação perfeita ou cópia da realidade. Diante dessa constatação, ressaltamos que ações futuras para atividades de modelagem 3D devem ser repensadas, no sentido de possibilitar aprofundamento do tema “natureza dos modelos na Ciência”.

Em geral, reconhecemos que o padrão de respostas dos estudantes demonstrou que alguns subsunçores ficaram retidos na estrutura cognitiva dos estudantes por um período de tempo maior, o qual pode oferecer indicativos de aprendizagem significativa da interação enzima-substrato pela maioria dos estudantes. Portanto, julgamos que o processo de modelagem 3D analisado contribuiu para que os estudantes repensassem a interação enzima-substrato, buscando manter a interação dos aspectos químicos nos níveis macroscópico e submicroscópico na estrutura cognitiva de forma não arbitrária e substantiva.

Além das discussões realizadas sobre os resultados obtidos por meio dos questionários inicial e final, julgamos importante investigar outros indícios de aprendizagem significativa e reflexão à ação docente em relação ao uso do modelo chave-fechadura para o ensino. Para obter essas informações os estudantes responderam a uma quinta questão do questionário de teste de retenção (Apêndice B) que contemplou o trecho retirado do livro “Química Cidadã volume 3”³³, dos autores Santos e colaboradores (2016) e aprovado no PNLD³⁴ 2018. O trecho consistiu de um fragmento de texto sobre a ação dos medicamentos no organismo humano contendo uma imagem do modelo chave-fechadura para explicação da atividade farmacológica de um fármaco. Neste questionamento, pedimos que os estudantes considerassem o trecho do livro e respondessem a seguinte pergunta: o que você, como futuro professor, pode comentar sobre o uso da representação para explicar a ação dos medicamentos em nosso organismo?

Destacamos que indícios de manifestações de reflexão sobre o uso de imagem do modelo chave-fechadura no livro didático, bem como da prática pedagógica foram encontrados

³³ A ideia do uso do trecho e da imagem do modelo chave-fechadura surgiu de uma experiência prática da pesquisadora durante a preparação de um planejamento de aula para regência do conteúdo de “química orgânica- funções químicas dos medicamentos” da disciplina de Química em uma turma do terceiro ano do ensino médio.

³⁴ A sigla PNLD se refere ao Programa Nacional do Livro e do Material Didático do Ministério da Educação que visa avaliar e disponibilizar livros didáticos aos professores do ensino básico da rede pública.

em 11 respostas. Evidenciamos esse padrão de resposta a partir dos relatos dos estudantes, como apresentado no excerto a seguir: “No meu ponto de vista, essa imagem não evidencia o que está descrito como ocorre a dinâmica do alívio da dor (nas etapas). Desse modo, eu não iria utilizar essa representação, pois como está descrito nas etapas, a impressão que tenho é que a ação dos medicamentos em nosso organismo acontece de forma dinâmica, ou seja, em movimentos. E a representação dá a entender que é tudo parado, ou seja, que é apenas um encaixe, robótico e sem movimento. Essa representação não promove a ideia de que nesse processo há interações e que essas interações podem e são diferentes. Outro ponto que precisa ser considerado, é que essa representação pode simbolizar e apresentar diversos significados na mente de um estudante. Por outro lado, essa representação pode até ser usada para dar a ideia que uma substância vai interagir com uma outra substância específica, até porque o estudante pode relacionar com o fato de que uma chave abre apenas uma fechadura de uma porta específica, porém para elencar a questão das interações químicas é necessário que se utilize outras representações ou até mesmo uma sequência de representações para mostrar as mudanças que ocorrem depois de uma interação química” (E6).

As respostas dos estudantes revelam reflexões críticas sobre o uso de imagens em livros didáticos do modelo chave-fechadura pela maioria dos estudantes. Em relação às respostas, consideramos que as atividades de intervenção realizadas, especialmente a atividade III que tratava das limitações do uso do modelo chave-fechadura nos livros didáticos segundo a perspectiva dos autores Marzzoco e Torres (2007) e Sangiogo e Zanon (2012), podem ter contribuído para que os estudantes refletissem sobre uma possível situação prática para escolha do uso de representações da interação enzima-substrato.

Outras 4 respostas não indicaram uma manifestação de reflexão crítica a respeito do uso do modelo chave-fechadura para explicar a atividade biológica dos fármacos, como pode ser observado no excerto a seguir: “Essa representação ajuda o paciente a entender que a ação dos medicamentos em nosso organismo dependerá da afinidade que o princípio ativo deste tem com algumas macromoléculas do nosso organismo” (E9). Entendemos que estes quatro estudantes (E1, E3, E8 e E9) não apresentaram argumentos para justificar a escolha do modelo chave-fechadura para ensinar sobre a ação de medicamentos, considerando as limitações do uso de imagens dos livros didáticos de acordo com os autores Sangiogo e Zanon (2012).

De modo geral, apresentamos os resultados do teste de retenção do conceito de interação enzimas-substrato, o qual possibilitou identificar possíveis contribuições da participação dos estudantes nas atividades de modelagem 3D para a aprendizagem e para reflexão crítica do uso de modelos para explicação da interação enzima-substrato.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E AÇÕES FUTURAS

Tendo como base todo o levantamento de informações, empenhamos em responder a seguinte questão de pesquisa: “Quais os efeitos do uso dos modelos 3D para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato, na perspectiva dos estudantes do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Alfenas?”.

A presente pesquisa apontou possíveis respostas para o tema investigado. Ressaltamos que os licenciandos conseguiram, após as atividades modelagem 3D, elaborar explicações mais adequadas em comparação com a parte inicial, isso se deu por conta das reflexões sobre o modelo 3D impresso. A respeito das contribuições também pontuamos que a maioria dos estudantes conseguiram aproximar os modelos 3D impressos com o conceito científico da interação enzima-substrato, representando com maior frequência os aspectos químicos macroscópicos e submicroscópicos. Além disso, a participação ativa destes estudantes nas etapas da modelagem também sugere resultados positivos em relação à formação de professores, no sentido de possibilitar aos futuros professores repensar sobre o uso dos modelos 3D impressos como recurso didático.

Consideramos que a validação prévia dos questionários, roteiros de entrevistas e do relato pessoal, realizadas por professores especialistas, contribuíram para a investigação efetiva do processo de aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato pelos licenciandos. Em relação as atividades de intervenção propostas neste estudo, estas foram essenciais para a reconstrução conceitual, no sentido que possibilitaram aos estudantes refletirem sobre os modelos.

Apoiamos no referencial teórico da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) e nos autores que discutem a temática modelos e modelagem para planejar as atividades, bem como para interpretar os resultados das análises obtidas. Sendo assim, consideramos que o processo de modelagem 3D apresentado pode orientar pesquisadores e professores no planejamento de atividades práticas para construção de conhecimento.

Esta investigação apresentou uma proposta de atividade de ensino que pode ser utilizada em qualquer curso de graduação que tenha a disciplina de Bioquímica em sua dinâmica curricular. Ainda que tenha sido uma atividade viabilizada pela disponibilidade da impressora 3D na instituição, futuras parcerias entre universidades e escolas de ensino médio podem facilitar o acesso a este tipo de ferramenta para pesquisas de educação básica e graduação.

As próximas etapas deste trabalho continuam relacionadas à apresentação dos resultados aos sujeitos desta pesquisa e a comunidade acadêmica, por meio da elaboração de textos para divulgação científica. Nessa direção, um trabalho escrito recentemente e em fase de avaliação demonstrou indícios de uma melhora do nível de compreensão³⁵ dos licenciandos em relação aos conceitos de modelos e modelagem durante o processo de modelagem 3D.

Reiteramos que futuros estudos podem ser bastante enriquecedores à pesquisa fundamentada no uso de modelos 3D impressos, especialmente por possibilitar novas discussões sobre este tema ainda pouco explorado em nosso país. A propósito, acentuamos a necessidade de propiciar reflexões mais profundas sobre a participação dos estudantes em atividades de modelagem 3D e suas possíveis implicações para formação de professores.

³⁵ O nível de compreensão do significado de modelos e modelagem, de acordo com Justi e Gilbert (2003) está associado à percepção da natureza da Ciência Química. Neste estudo, destacamos que esta percepção é uma das características essenciais para formação de professores de química.

REFERÊNCIAS

- AKIN, F. N.; UZUNTIRYAKI-KONDAKCI, E. The Nature of the interplay among components of pedagogical content knowledge in reaction rate and chemical equilibrium topics of novice and experienced chemistry teachers. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 19, n. 1, p. 80-105, 2018.
- ALCÂNTARA, N. R.; MORAES FILHO, A. V. Elaboração e utilização de um aplicativo como ferramenta no ensino de bioquímica: carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 13, n. 3, p. 55-72, 2015.
- ALMEIDA, J. F.; KIILL, K. B. Modelos e modelagem na perspectiva da teoria da aprendizagem significativa no ensino de ciências: revisão de artigos de pesquisas brasileiras (2008-2017). In: ENCONTRO NACIONAL DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, 7., 2018, Blumenau. **Atas...** Blumenau: FURB, 2018. p. 22-27.
- AUSUBEL, D. P. **Adquisición y retención del conocimiento: una perspectiva cognitiva**. Buenos Aires: Paidós, 2002.
- ABUALIA, M. et al. Connecting protein structure to intermolecular interactions: a computer modeling laboratory. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 8, p. 1353-1363, 2016.
- AZZOLIN, K. A. S. **Concepções prévias de estudantes do ensino médio sobre solubilidade e o desenvolvimento de atividades experimentais como ferramenta para a melhoria do ensino**. 2012. 49 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Faculdade de Educação em Ciências, Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- BARBOSA, J. G.; HESS, R. **O diário de pesquisa: o estudante universitário e seu processo formativo**. Brasília: Liberlivro, 2010. 103 p. (Série Pesquisa; v. 18).
- BARBOSA, P. P. S. et al. Perfil – biomoléculas. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 12, n. 1, 2014.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011, 229 p.
- BERGQVIST, A.; DRECHSLER, M.; RUNDGREN, S. C. Upper secondary teachers' knowledge for teaching chemical bonding models. **International Journal of Science Education**, v. 38, n. 2, p. 298-318, 2016.
- BLANCO-ANAYA, P.; JUSTI, R.; BUSTAMANTE, J. D. Challenges and opportunities in analysing students modelling. **International Journal of Science Education**, v. 39, n. 3, p. 377-402, 2017.
- BORSSOI, A. H.; ALMEIDA, L. M. W. Uma aproximação entre modelagem matemática e unidades de ensino potencialmente significativas para a aprendizagem significativa: o caso das equações de diferenças. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, n. 2, p. 481-503, 2013.

- BOTAS, D.; MOREIRA, D. A utilização de materiais didáticos nas aulas de matemática: um estudo no 1º ciclo. **Revista Portuguesa de Educação**, v. 26, n. 1, p. 253-286, 2013.
- BRANDRIET, A. R.; WARD, R. M.; BRETZ, S. L. Modeling meaningful learning in chemistry using structural equation modeling. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, n. 4, p. 421-430, 2013.
- BRETZ, S. L.; LINENBERGER, K. J. Development of the enzyme-substrate interactions concept inventory. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 40, n. 4, p. 229-233, 2012.
- BROWN, A. 3D printing in instructional settings: identifying a curricular hierarchy of activities. **Association for Educational Communications and Technology**, v. 59, n. 5, p. 16-24, 2015.
- CAKIR, M. Constructivist approaches to learning in science and their implications for science pedagogy: A Literature Review. **International Journal of Environmental & Science Education**, v. 3, n. 4, p. 193-206, 2008.
- CAKMAKCI, G. Identifying alternative conceptions of chemical kinetics among secondary school and undergraduate students in Turkey. **Journal of Chemical Education**, v. 87, n. 4, p. 449-455, 2010.
- CALCABRINI, M.; ONNA, D. Exploring the gel state: optical determination of gelation times and transport properties of gels with an inexpensive 3D-printed spectrophotometer. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 1, p. 116-123, 2019
- CANESSA, E. Low-cost 3D printing for science, education and sustainable development. In: CANESSA, E.; FONDA, C.; ZENNARO, Ed(s). **Low-cost 3D Printing**. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, 2013. 199 p.
- CARLISLE, D.; TYSON, J.; NIESWANDT, M. Fostering spatial skill acquisition by general chemistry students. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 16, n. 3, p. 478-517, 2015.
- CARROLL, F. A.; BLAUCH, D. N. 3D printing of molecular models with calculated geometries and p orbital isosurfaces. **Journal of Chemical Education**, v. 94, n. 7, p. 886-891, 2017.
- CHAGAS, A. T. R. **O questionário na pesquisa científica**. FECAP, Campinas, v. 1, n. 1, 2000. Disponível em: <http://www.fecap.br/adm_online/art11/anival.htm>. Acesso em: 23 jun. 2017.
- CHAMPE, P. C.; HARVEY, R. A.; FERRIER, D. R. **Bioquímica Ilustrada**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 544 p.
- CORREIA, P. R. M. et al. A bioquímica como ferramenta interdisciplinar: vencendo o desafio da integração de conteúdos no ensino médio. **Química Nova na Escola**, n. 19, p. 19-23, 2003.
- COVOLAN, S. C. T. **O conceito de entropia num curso destinado ao ensino médio a partir de concepções prévias dos estudantes e da história da ciência**. 2003. 122 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2003.

CRESWELL, J. W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens**. 3 ed. São Paulo: Penso, 2014. 340 p.

DUSO, L. et al. Modelização: uma possibilidade didática no ensino de Biologia. **Revista Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 15, n. 02, p. 29-44, 2013.

FERREIRA, C. R.; ARROIO, A. Visualizações no ensino de química: concepções de professores em formação inicial. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 3, p. 199-208, 2013.

FOURCHES, D.; FEDUCIA, J. Student-guided three-dimensional printing activity in large lecture courses: a practical guideline. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 2, p. 291-295, 2019.

FLICK, U. **Métodos de pesquisa: introdução à pesquisa qualitativa**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 405 p.

GALEMBECK, E.; PEDROSO FILHO, C. E. S. Enzyme. **Biblioteca Digital de Ciências**, 03 sep. 2007. Disponível em: <<https://www.bdc.ib.unicamp.br/bdc/visualizarMaterial.php?idMaterial=528>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

GALEMBECK, E.; PEDROSO FILHO, C. E. S.; TORRES, B. B. A cinética da reação enzimática. **Biblioteca Digital de Ciências**, 03 sep. 2007. Disponível em: <<https://www.bdc.ib.unicamp.br/bdc/visualizarMaterial.php?idMaterial=527>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

GERHARD, A. C.; ROCHA FILHO, J. B. A fragmentação dos saberes na educação científica escolar na percepção de professores de uma escola de ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 1, p. 125-145, 2012.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 120 p. (Série Educação a Distância; v. 42).

GILBERT, J. K. Models and modelling: routes to more authentic science education. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 2, n. 2, p. 115-130, 2004.

GILBERT, J. K. Representations and models: aspects of scientific literacy. In: TYTLER, R. et al. (Ed.). **Constructing representations to learn in science**. Rotterdam: Sense Publishers, 2013. p. 193-198.

GILBERT, J. K. The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction. **Asia-Pacific forum on science learning and teaching**, v. 11, n. 1, p. 1-19, 2010.

GILBERT, J. K. Visualization: a metacognitive skill in science education. **Visualization in Science Education**, v. 27, n. 9, p. 9-27, 2005.

GILBERT, J. K.; TREAGUST (Ed.). Multiple representations in chemical education. **International Journal of Science Education**, v. 31, n. 16, p. 2271-2273, 2009.

GRIFFITH, K. M.; CATALDO, R.; FOGARTY, K. H. Do-it-yourself: 3D models of hydrogenic orbitals through 3D printing. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 9, p. 1586-1590, 2016.

GROPPO, L. A.; MARTINS, M. F. **Introdução à pesquisa em educação**. Campinas: Biscalchin Editor, 2006.

HERNÁNDEZ, M. I.; COUSO, D.; PINTÓ, R. Analyzing students' learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach. **Journal of Science Education and Technology**, v. 24, ed. 2-3, p. 356-377, 2014.

JAGER, T. Perceived advantages of 3D lessons in constructive learning for South African student teachers encountering learning barriers. **International Journal of Inclusive Education**, v. 21, n. 1, p. 90-102, 2016.

JIMÉNEZ-TENORIO, N.; NÚÑEZ, L. A.; MARTÍNEZ, J. M. O. Percepciones de estudiantes para maestros de educación primaria sobre los modelos analógicos como recurso didáctico. **Enseñanza de Las Ciencias**, v. 34, n. 3, p. 91-112, 2016.

JUNIOR, W. E. F.; FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R. Um modelo para o estudo do fenômeno de deposição metálica e conceitos afins. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 2, p. 82-87, 2009.

JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada em la elaboración de modelos. **Enseñanza de Las Ciencias**, v. 24, n. 2, p. 173-184, 2006.

JUSTI, R. Modelos e modelagem no ensino de química. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de química em foco**. Ijuí: Unijui, 2010, p. 209-230.

JUSTI, R. Relações entre argumentação e modelagem no contexto da ciência e do ensino de ciências. **Revista Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, n. especial, p. 31-48, 2015.

JUSTI, R.; GILBERT, J. K. Models and modelling in chemical education. In: JONG, O.; TREAGUST, D. F.; DRIEL, J. H. V. (Ed.). **Chemical education: towards research-based practice**. United Kingdom: Science & Technology Education Library, 2003. cap. 17, p. 47-68.

JUSTI, R.; GILBERT, J. K. Teachers' views on the nature of models. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 11, p. 1369-1386, 2003.

KALIAKIN, D. S.; ZAARI, R. R.; VARGANOV. 3D printed potential and free energy surfaces for teaching fundamental concepts in physical chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 92, n. 12, p. 2106-2112, 2015.

KIILL, K. B. **Caracterização de imagens em livros didáticos e suas contribuições para o processo de significação do conceito de equilíbrio químico**. 2009. 278 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

KRELL, M.; BELZEN, A. U. Z.; KRÜGER, D. Students' levels of understanding models and modelling. **Research in Science Education**, v. 44, n. 1, p. 109-132, 2014.

LEE, S. W.-Y.; CHANG, H.-Y.; WU, H.-K. Students' views of scientific models and modeling: do representational characteristics of models and students' educational levels matter?. **Research in Science Education**, v. 47, n. 2, p. 305-328, 2015.

LINENBERGER, K. J.; BRETZ, S. L. Biochemistry students' ideas about how an enzyme interacts with a substrate. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 43, n. 4, p. 213-222, 2015.

LINENBERGER, K. J.; BRETZ, S. L. Biochemistry students' ideas about shape and charge in enzyme-substrate interactions. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 42, n. 4, p. 366-367, 2014.

LUZ, M. R. M. P.; OLIVEIRA, G. A.; POIAN, A. T. Glucose as the sole metabolic fuel: overcoming a misconception using conceptual change to teach the energy-yielding metabolism to Brazilian high school students. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 41, n. 4, p. 224-231, 2013.

MARZZOCO, A.; TORRES, B. B. **Bioquímica básica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 386 p.

MEYER, S. C. 3D printing of protein models in an undergraduate laboratory: leucine zippers. **Journal of Chemical Education**, v. 92, n. 12, p. 2120-2125, 2015.

MINAYO, M. C. S.; DESLANDES, S. F.; GOMES, R. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 28. ed. Petrópolis: Vozes, 2009. 54 p.

MOREIRA, M. A. (2010). **¿Al final , qué es aprendizaje significativo?**. Disponível em: < <http://moreira.if.ufrgs.br/alfinal.pdf>>. Acesso em: 02 marzo 2018.

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

MOREIRA, M. A. (1997). **Aprendizagem significativa: um conceito subjacente**. Disponível em: < <http://moreira.if.ufrgs.br/apsigsubport.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2018.

MOREIRA, M. A. Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 2, p. 1-20, 2014.

MOREIRA, M. A. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, p. 193-232, 1996.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: a teoria da aprendizagem significativa**. Porto Alegre, p. 1-69, 2009. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/Subsidios6.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2018.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2006.

MUÑOZ-CAMPOS, V.; FRANCO-MARISCAL, A. J.; BLANCO-LÓPEZ, Á. Modelos mentales de estudiantes de educación secundaria sobre la transformación de la leche em

yogur. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 15, n. 2, p. 2106, 2018.

MURI, E. M. F. Proteases virais: importantes alvos terapêuticos de compostos peptídeomiméticos. **Química Nova**, v. 37, n. 2, p. 308-316, 2014.

NOVAK, J. D. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano, 1984.

ORNEK, F. Models in science education: applications of models in learning and teaching science. **International Journal of Environmental & Science Education**, v. 3, n. 2, p. 35-45, 2008.

PAGANINI, P.; JUSTI, R.; MOZZER, N. B. Mediadores na coconstrução do conhecimento de ciências em atividades de modelagem. **Ciência e Educação**, Bauru: São Paulo, v. 20, n. 4, p. 1019-1036, 2014.

PÉREZ, G. M.; GALINDO, A. A. G.; GALLI, L. G. Enseñanza de la evolución: fundamentos para el diseño de una propuesta didáctica basada em la modelización y la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 15, n. 2, p. 2102, 2018.

PRAIN, V.; TYTLER, R. Learning through constructing representations in science: a framework of representational construction affordances. **International Journal of Science Education**, v. 34, n. 17, p. 2751-2773, 2012.

PREGO, N. A.; PUIG, B. Modelizar la expresión de los genes para el aprendizaje de enfermedades genéticas em secundaria. **Revista Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 18, n. 01, p. 65-84, 2016.

RAUPP, D. T. **Alfabetização tridimensional, contextualizada e histórica no campo conceitual da estereoquímica**. 2015. 423 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação em Ciências, Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SAKABE, N. J.; MARSON, G. A.; TORRES, B. B. Estudo interativo da estrutura e função de proteínas. **Biblioteca Digital de Ciências**, 01 jun. 2006. Disponível em: <<https://www.bdc.ib.unicamp.br/bdc/visualizarMaterial.php?idMaterial=247>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

SANA, T. C. V. **Produção de diferentes mídias na investigação de modelos de estudantes do ensino médio sobre mudanças de estados físicos da matéria**. 2016. 191 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SANTOS FILHO, J. C.; GAMBOA, S. S. **Pesquisa educacional: quantidade-qualidade**. 6. ed. Petrópolis: Cortez, 2007. (Coleção Questões da Nossa Época; v. 42).

SANTOS, V. J. S. V. et al. Desenvolvimento e avaliação de uma ferramenta para diagnóstico de literacia visual, contextualizada no ensino de metabolismo. **Revista de Ensino de Bioquímica**, n. 1, p. 55-88, 2013.

SANTOS, W. L. P. et al. **Química cidadã**, São Paulo: Editora AJS, 2016. v. 3, p. 109-110.

SANGIOGO, F. A.; ZANON, L. B. Reflexões sobre modelos e representações na formação de professores com foco na compreensão conceitual da catálise enzimática. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 1, p. 26-34, 2012.

SCALCO, K. C. **O uso de representações visuais para o ensino do conteúdo de forças intermoleculares**. 2018. 230 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, 2018.

SCALCO, K. C.; CORDEIRO, M. R.; KIILL, K. B. Representações presentes nos livros didáticos: um estudo realizado para o conteúdo de ligação iônica a partir da semiótica peirceana. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 2, p. 134-142, 2014.

SCALFANI, V. F.; VAID, T. P. 3D printed molecules and extended solid models for teaching symmetry and point groups. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 8, p. 1174-1180, 2014.

SCATIGNO, A. C.; TORRES, B. B. Diagnósticos e intervenções no ensino de bioquímica. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 24, n. 1, p. 30-51, 2016.

SCHIMIDT, D. B. et al. Mapas conceituais no ensino de bioquímica, uma integração entre os conceitos científicos. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 12, n. 2, 2014.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 21. ed. São Paulo: Cortez, 2000. 279 p.

SMIAR, K.; MENDEZ, J. D. Creating and using interactive, 3D-printed models to improve student comprehension of the bohr model of the atom, bond polarity, and hybridization. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 9, p. 1591-1594, 2016.

SOUZA, K. A. F. D.; CARDOSO, A. A. Aspectos macro e microscópicos do conceito de equilíbrio químico e de sua abordagem em sala de aula. **Química Nova na Escola**, n. 27, p. 51-56, 2008.

SOUZA, V. C. A.; JUSTI, R. Estudo da utilização de modelagem como estratégia para fundamentar uma proposta de ensino relacionada à energia envolvida nas transformações químicas. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, n. 2, p. 1-26, 2010.

SOUZA, V. C. A.; JUSTI, R. Interloquções possíveis entre linguagem e apropriação de conceitos científicos na perspectiva de uma estratégia de modelagem para a energia envolvida nas transformações químicas. **Revista Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 13, n. 2, p. 31-46, 2011.

SPAN, E. A. et al. Protein structure in context: the molecular landscape of angiogenesis. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 41, n. 4, p. 213-223, 2013.

SZYMANSKI, H.; ALMEIDA, L. R.; PRANDINI, R. C. A. R. **A entrevista na pesquisa em educação: a prática reflexiva**. 61. ed. Brasília: Liberlivro, 2004. 87 p. (Série Pesquisa em Educação; v. 4).

TABER, K. S. Modelling learners and science education: developing representations of concepts, conceptual structure and conceptual change to inform teaching and research. In:

TABER, K, S. **Modelling the Science Learner's Knowledge**. United Kingdom: Springer, 2013, 364 p.

TAUCEDA, K. C.; DEL PINO, J. C. Os conhecimentos prévios e as implicações na aprendizagem significativa de David Ausubel na construção do modelo mental da membrana celular no ensino médio. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 3, n. 2, p. 77-87, 2013.

TERUYA, L. C. et al. Visualização no ensino de química: apontamentos para a pesquisa e desenvolvimento de recursos educacionais. **Química Nova**, v. 36, n. 4, p. 561-569, 2013.

TREAGUST, D. F.; CHITTLEBOROUGH, G.; MAMIALA, T. L. Students' understanding of the role of scientific models in learning science. **International Journal of Science Education**, v. 24, n. 4, p. 357-368, 2002.

VASCONCELOS, F. C. G. C.; ARROIO, A. Explorando as percepções de professores em serviço sobre as visualizações no ensino de química. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1242-1247, 2013.

VAZ, M.; CHOUPINA, A. Lipases: biocatalizadores da hidrólise de triacilgliceróis. **Revista Eletrônica de Biologia**, v. 5, n. 3, p. 42-58, 2012.

VIANNA, H. M. **Pesquisa em educação: a observação**. Brasília: Plano Editora, 2003. 101 p. (Série Pesquisa em Educação; v. 5).

VILLANI, C. E. P.; NASCIMENTO, S. S. A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 3, p. 187-209, 2003.

ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DE APROVAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
ALFENAS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Modelos 3D no ensino de Química como estratégia para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato

Pesquisador: JOYCE FERNANDES ALMEIDA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 72622617.9.0000.5142

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - UNIFAL-MG

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.420.833

Apresentação do Projeto:

A presente pesquisa é de nível de mestrado e pretende pesquisar o uso de modelos 3D no ensino de Química como estratégia para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato. Os sujeitos serão alunos e professores de química do Ensino Superior. Financiamento: Próprio

Objetivo da Pesquisa:

Compreender as contribuições do uso de modelos 3D para a aprendizagem do conceito sobre a interação enzima-substrato, na perspectiva dos estudantes do curso de Química – licenciatura da Universidade Federal de Alfenas (Minas Gerais).

Apresenta objetivos: Claros, coerentes e exequíveis.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

A presente pesquisa é classificada como de risco mínimo e apresenta ações minimizadoras dos riscos, citando que no decorrer do estudo a pesquisadora ficará atenta a qualquer manifestação de desconforto, frustração ou constrangimento, adotando as medidas necessárias para assegurar a integridade do participante.

Portanto:

- os riscos de execução do projeto são bem avaliados;
- os benefícios oriundos da execução do projeto justificam os riscos corridos;
- apresentou ação minimizadora dos riscos.

Endereço: Rua Gabriel Montello da Silva, 700
Bairro: centro CEP: 37.130-000
UF: MG Município: ALFENAS
Telefone: (35)3299-1318 Fax: (35)3299-1318 E-mail: comite.etica@unifal-mg.edu.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
ALFENAS**



Continuação do Parecer: 2.420.833

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

- a. Metodologia - Adequada.
- b. Referencial - Atualizado e suficiente.
- c. Cronograma - Coerente e adequado ao tempo de tramitação do projeto.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Termos obrigatórios ao projeto:

- a. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) – presente e adequado.
- b. Termo de Assentimento (TA) – não se aplica.
- c. Termo de Assentimento Esclarecido (TAE) – não se aplica.
- d. Termo de Compromisso para Utilização de Dados e Prontuários (TCUD) – não se aplica.
- e. Termo de Anuência Institucional (TAI) – presente e adequado.
- f. Folha de rosto - presente e adequada.
- g. Projeto de pesquisa completo e detalhado - presente e adequado.
- h. Termo de Autorização para Gravação de Voz - presente e adequado.

Recomendações:

Não há.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Recomenda-se a aprovação.

Considerações Finais a critério do CEP:

Aprovação ad referendum.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_968275.pdf	27/11/2017 11:53:13		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Mestrado_Reapresentacao_Joyce.pdf	27/11/2017 11:50:31	JOYCE FERNANDES ALMEIDA	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto.pdf	27/07/2017 11:39:45	JOYCE FERNANDES	Aceito
Outros	Roteiro_inicial_para_Entrevista.pdf	27/07/2017 10:19:12	JOYCE FERNANDES	Aceito
Outros	Questionarios_Semiestruturados.pdf	27/07/2017 10:18:09	JOYCE FERNANDES	Aceito

Endereço: Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700
 Bairro: centro CEP: 37.130-000
 UF: MG Município: ALFENAS
 Telefone: (35)3299-1318 Fax: (35)3299-1318 E-mail: comite.etica@unifal-mg.edu.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
ALFENAS



Continuação do Parecer: 2.420.833

Outros	TAI_Reitor.pdf	27/07/2017 10:16:42	JOYCE FERNANDES	Aceito
Outros	TAI_Coordenacao.pdf	27/07/2017 10:15:29	JOYCE FERNANDES	Aceito
Outros	Termo_Entrevista.pdf	27/07/2017 10:10:58	JOYCE FERNANDES	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	27/07/2017 10:02:35	JOYCE FERNANDES ALMEIDA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

ALFENAS, 07 de Dezembro de 2017

Assinado por:
Marcela Filié Haddad
(Coordenador)

Endereço: Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700
Bairro: centro CEP: 37.130-000
UF: MG Município: ALFENAS
Telefone: (35)3299-1318 Fax: (35)3299-1318 E-mail: comite.etica@unifal-mg.edu.br

APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA COM OS ESTUDANTES

Roteiro de Entrevista

Apresentação

Esta etapa do projeto será realizada por meio de entrevista individual e será gravada para orientar a transcrição das informações pelo pesquisador. O objetivo desta etapa é investigar os conhecimentos prévios sobre a representação da interação enzima-substrato. A qualquer momento você pode interromper a entrevista. Será garantido o sigilo das informações, bem como da identificação dos estudantes.

Aquecimento

Você está cursando a disciplina de Bioquímica neste semestre?. Você participou da fase de elaboração dos modelos e agora vamos falar um pouco sobre o seu desenho.

Questões direcionadoras

- a. Por que você considera que este desenho representa a interação enzima-substrato?
- b. Que perspectivas você considerou para elaborar esta representação? Por exemplo: ao elaborar a representação (desenho) você considerou a perspectiva tridimensional?
- c. Quais aspectos do conhecimento químico você considerou para representar a interação enzima-substrato?
- d. Você pensou em algum exemplo para elaborar a representação? Qual (is)?
- e. Você sentiu dificuldades durante a elaboração do desenho? Qual (is)?
- f. Como você explicaria a interação enzima-substrato utilizando sua representação?
- g. Como você explicaria a ocorrência deste fenômeno em meio biológico?
- h. Na ocorrência deste fenômeno em meio biológico, qual (is) aspectos químicos você consideraria?
- i. Você considera que seu desenho representa o que você pensa a respeito da interação enzima-substrato?
- j. Como futuro professor, o que você considera em relação ao uso desta atividade de construção de representações 3D para o ensino de Química?

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIOS

Questionário Semiestruturado individual – Inicial

Q.1 - Como você entende o conceito de interação enzima-substrato?

Q.2 - Quais aspectos químicos interferem na interação enzima-substrato?

Q.3 - Como você explicaria a interação enzima-substrato pelo modelo “chave-fechadura”?

Q.4 - Como você explicaria a interação enzima-substrato pelo modelo “ajuste induzido”?

Questionário Semiestruturado para atividade em grupo

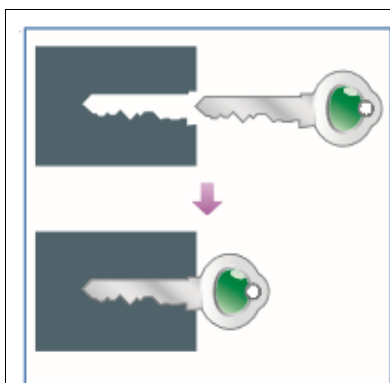
Q.1 - Elabore um desenho que represente a interação que ocorre entre a enzima e o substrato. Sua representação é livre. Use sua criatividade.

Questionário Semiestruturado individual – Final

Q.1 - Como você explicaria o fenômeno da interação enzima-substrato após ter participado do processo de construção do modelo concreto?

Questionário semiestruturado individual – Final II

Q.1 – O trecho a seguir foi retirado do livro “Química Cidadã volume 3”, dos autores Santos e colaboradores (2016) e aprovado no PNLD 2018.



▲ O modelo **chave-fechadura** explica por que determinadas substâncias têm atividade biológica no organismo e outras não. Substâncias ativas são como chaves específicas que interagem com determinadas macromoléculas, biorreceptores que atuam como fechaduras. Por isso, a atividade farmacológica de um fármaco está relacionada diretamente a sua estrutura química e à afinidade por seu receptor.

Há tempo que a ação dos medicamentos em nosso organismo é objeto de estudo. O químico alemão Hermann Emil Fischer [1852–1919] formulou um modelo conhecido como **chave-fechadura**, utilizado até os dias atuais.

Simplificadamente, esse modelo define que as moléculas das substâncias ativas em nosso organismo seriam como chaves específicas. Essas chaves interagem com macromoléculas do organismo, chamadas biorreceptores, como se elas fossem fechaduras. É dessa interação chave-fechadura que resulta a resposta farmacológica de substâncias ativas presentes em medicamentos. O modelo chave-fechadura permite fazer hipóteses sobre a estrutura do receptor a partir da estrutura molecular do fármaco. Observe o esquema ao lado.

De um modo mais simples, podemos explicar a dinâmica do alívio da dor:

- primeira etapa: administração e absorção do fármaco no organismo;
- segunda etapa: distribuição desse fármaco pelo corpo;
- terceira etapa: interação com o receptor no organismo e desencadeamento da resposta farmacológica;
- quarta etapa: eliminação do fármaco do organismo.

Os fármacos são responsáveis pela prevenção do agravamento de doenças crônicas e infecções.

Todo medicamento tem um **princípio ativo** (fármaco), que é a principal substância da sua fórmula, responsável pelo seu efeito terapêutico. Na aspirina, como vimos, o princípio ativo é o ácido acetilsalicílico, uma substância que apresenta funções mistas: ácido carboxílico e éster.

Considerando o trecho do livro, o que você, como futuro professor, pode comentar sobre o uso da representação para explicar a ação dos medicamentos em nosso organismo?

Q.2 – Comente sobre o uso do modelo “chave-fechadura” para ensinar a interação enzima-substrato.

Q.3 – Comente sobre o uso do modelo “ajuste induzido” para ensinar a interação enzima-substrato.

Q.4 – Explique o conceito de interação enzima-substrato.

Q.5 – Há aspectos químicos que interferem na interação enzima-substrato? Comente.

APÊNDICE C – TERMOS

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE

Você está sendo convidado (a) a participar, como voluntário (a), da pesquisa “Modelos 3D impressos no ensino de Química como estratégia para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato”, no caso de você concordar em participar, favor assinar ao final do documento.

Sua participação não é obrigatória, e, a qualquer momento, você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com a pesquisadora ou com a instituição.

Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e endereço da pesquisadora principal, podendo tirar dúvidas do projeto e de sua participação.

TÍTULO DA PESQUISA: Modelos 3D impressos no ensino de Química como estratégia para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato

PESQUISADORA RESPONSÁVEL: Joyce Fernandes Almeida

ENDEREÇO: Rua Alfredo Thiers Vieira, 115 A, Centro, Alfenas – MG

TELEFONE: (35) 98834-0536

E-MAIL: joycebioquimica@gmail.com

OBJETIVOS: Este estudo tem como objetivo compreender as contribuições do uso de modelos 3D para a aprendizagem do conceito sobre a interação enzima-substrato, visando analisar a perspectiva dos estudantes e professores do curso de Química – Licenciatura da Universidade Federal de Alfenas (Minas Gerais).

JUSTIFICATIVA: A pesquisa se justifica pela busca da compreensão da percepção dos estudantes e professores a respeito do uso de modelos tridimensionais para o ensino e a aprendizagem do conceito científico escolar proposto.

PROCEDIMENTOS DO ESTUDO: A pesquisa será realizada na Universidade Federal de Alfenas, no período letivo da disciplina de Laboratório de Ensino de Química. Durante o estudo foram usadas as seguintes técnicas de geração dos dados:

a) Observação participante do cotidiano escolar dos estudantes;

b) Questionários para o levantamento das concepções dos estudantes sobre o conceito de interação enzima-substrato e para avaliação da potencialidade do modelo para a aprendizagem. Nesta etapa foram formados grupos para que seja escolhido o modelo consensual a ser impresso pelo pesquisador;

c) Entrevistas semiestruturadas para avaliação das percepções dos professores em relação ao uso de modelos no processo de ensino e aprendizagem;

Nesta pesquisa, de natureza qualitativa, os dados gerados foram tratados, codificados e analisados, seguindo a técnica de análise de conteúdo. Ao final, os dados foram triangulados, visando a compreensão da percepção dos estudantes em relação a aprendizagem e a percepção dos professores no que se refere ao uso de modelos no ensino. Os modelos produzidos na pesquisa estão mantidos no Laboratório de Ensino de Química para o uso dos estudantes e professores em práticas de ensino.

RISCOS E DESCONFORTOS: De acordo com os princípios da Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), a presente pesquisa é classificada como de Risco Mínimo, já que para a realização dos procedimentos aqui descritos são previstos riscos mínimos aos participantes e possivelmente não causarão danos à sua integridade física, psíquica, moral, intelectual, social, cultural ou espiritual. A pesquisadora garante que os danos previsíveis foram evitados. Cabe ressaltar, que no decorrer do estudo a pesquisadora ficará atenta a qualquer manifestação de desconforto, frustração ou constrangimento, adotando as medidas necessárias para assegurar a integridade do participante.

Durante a observação participante, a pesquisadora entende que possui graus de liberdade bastante limitados, assegurando que foram observados somente os fatos que são objetos de estudo. Os riscos que permeiam esta metodologia referem-se ao provável desconforto e incômodo em relação à presença da pesquisadora durante as aulas, que neste caso se propõem como ação minimizadora, participar no cotidiano dos estudantes, buscando agir com naturalidade durante a observação. Se for notada qualquer situação de constrangimento, como ação corretiva, os sujeitos poderão desistir de participar da pesquisa sem nenhum prejuízo.

Em relação a formação dos grupos para a escolha dos desenhos, o risco que o participante poderá ter é se sentir desconfortável ao realizar tal atividade, neste caso estes estudantes poderão escolher não participar da atividade em grupo, sem qualquer penalização aos envolvidos.

Quanto a realização da entrevista semiestruturada com os professores, a pesquisadora utilizará um gravador de voz, assegurando que será utilizado exclusivamente para apoio da memória dos fatos no momento da transcrição dos dados. Antes da geração dos dados os

sujeitos receberão o termo de autorização para uso de sua voz e somente após a autorização será iniciado o procedimento para geração dos dados. Caso o participante se sinta desconfortável ou constrangido durante a entrevista, o mesmo poderá desistir de participar da pesquisa sem nenhum prejuízo.

BENEFÍCIOS: Esperamos com a realização desta pesquisa, contribuir para a aprendizagem científica, de maneira a proporcionar reflexões sobre as perspectivas dos estudantes e professores quanto ao uso de modelos no ensino e as implicações na prática docente. Esta pesquisa apresenta relevância social, já que os resultados obtidos ao final deste estudo serão socializados com os participantes da pesquisa e com a comunidade, a fim de analisar as possíveis contribuições da modelização na formação inicial de professores, bem como discutir os impactos no ensino médio.

CUSTO/REEMBOLSO PARA O PARTICIPANTE: Não haverá nenhum gasto com sua participação. Os materiais utilizados para impressão e acabamento dos modelos 3D serão disponibilizados e os participantes não receberão nenhuma cobrança com o que será realizado. O participante da pesquisa não receberá nenhum pagamento por sua participação e em qualquer etapa da pesquisa os participantes poderão suspender ou encerrar sua participação, a qualquer tempo ou motivo sem nenhum prejuízo para os envolvidos.

CONFIDENCIALIDADE DA PESQUISA: A pesquisadora responsável compromete-se com a garantia de manutenção do sigilo e da privacidade dos participantes da pesquisa em qualquer fase da pesquisa. É assegurada a privacidade dos participantes quanto aos dados confidenciais envolvidos na pesquisa e os dados não serão divulgados. A divulgação dos resultados somente será realizada para fins de pesquisa em publicações científicas, mantendo sigilo dos dados pessoais dos sujeitos.

Assinatura do Pesquisador Responsável: _____

Eu, _____, declaro que li as informações contidas nesse documento, fui devidamente informado(a) pela pesquisadora Joyce Fernandes Almeida dos procedimentos que serão utilizados, riscos e desconfortos, benefícios, custo/reembolso dos participantes, confidencialidade da pesquisa, concordando ainda em participar da pesquisa. Foi-me garantido que posso retirar o consentimento a qualquer momento, sem qualquer penalidade

ou interrupção de meu acompanhamento/assistência/tratamento. Declaro ainda que recebi uma cópia desse Termo de Consentimento. Poderei consultar o pesquisador responsável (acima identificado) ou o CEP-UNIFAL-MG, com endereço na Universidade Federal de Alfenas, Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro, Cep - 37130-000, Fone: (35) 3299-1318, no e-mail: comite.etica@unifal-mg.edu.br sempre que entender necessário obter informações ou esclarecimentos sobre o projeto de pesquisa e minha participação no mesmo. Os resultados obtidos durante este estudo serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados em publicações científicas, desde que meus dados pessoais não sejam mencionados.

LOCAL E DATA: Alfenas, _____ de _____ de _____.

(Nome por extenso)

(Assinatura)

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA GRAVAÇÃO DE VOZ

Eu, _____, depois de entender os riscos e benefícios que a pesquisa intitulada “Modelos 3D no ensino de Química como estratégia para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato” poderá trazer e, entender especialmente os métodos que serão usados para a geração de dados, assim como, estar ciente da necessidade da gravação de minha voz, AUTORIZO, por meio deste termo, a pesquisadora Joyce Fernandes Almeida a realizar a gravação de minha entrevista sem custos financeiros a nenhuma parte. Esta AUTORIZAÇÃO foi concedida mediante o compromisso da pesquisadora acima citada em garantir-me os seguintes direitos:

1. Poderei ter acesso a transcrição de minha gravação;
2. Os dados gerados serão usados, exclusivamente, para gerar informações para a pesquisa aqui relatada e outras publicações dela decorrentes, quais sejam: revistas científicas, congressos e jornais;
3. Minha identificação não será revelada em nenhuma das vias de publicação das informações geradas;
4. Qualquer outra forma de utilização dessas informações somente poderá ser feita mediante minha autorização;
5. Os dados gerados serão guardados por 5 anos, sob a responsabilidade da pesquisadora coordenadora da pesquisa Joyce Fernandes Almeida e após esse período, serão destruídos;
6. Serei livre para interromper minha participação na pesquisa a qualquer momento e/ou solicitar a posse da gravação e transcrição de minha voz.

Alfenas, _____ de _____ de _____.

Participante da Pesquisa

Pesquisadora Responsável
Joyce Fernandes Almeida

APÊNDICE D – PLANEJAMENTO DAS INTERVENÇÕES

PROPOSTA DE ATIVIDADE DE INTERVENÇÃO 1

Esta é uma proposta de atividade de intervenção fundamentada em abordagens apresentadas na revisão de literatura da pesquisadora. Além disso, o planejamento foi realizado seguindo orientações do professor responsável pela disciplina de Bioquímica.

Objetivos:

- Possibilitar a aprendizagem significativa por meio da relação entre os conceitos fundamentais sobre a interação enzima-substrato com subsunçores identificados nas entrevistas e nos questionários.
- Possibilitar o estudante a transição entre os níveis do conhecimento químico, em especial o nível submicroscópico (nível atômico-molecular).

Recursos:

- Apresentação em slides de representações químicas em 2D por meio de imagens de livros didáticos e artigos.
- Visualização de representações (imagens) em 3D de enzimas humanas através do software PDB (Protein Data Bank).
- Uso de software para a realização de uma atividade que visa contribuir para a compreensão dos fatores químicos que interferem na atividade enzimática, em reações químicas ou meios biológicos.

Justificativa do uso dos recursos:

A apresentação de representações químicas em 2D por meio de imagens de livros didáticos e artigos podem contribuir para a compreensão das limitações do uso do LD para o ensino do conceito de interação enzima-substrato. Uma das imagens é a representação do mecanismo de ação da enzima quimotripsina, a qual está presente no suco pancreático.

O objetivo principal do uso destas imagens é contribuir para a compreensão da atividade biológica da enzima através de exemplos de estruturas de cristalografia de raio X de enzimas humanas (imagens em 2D e 3D). Além disso, o uso de software educacional tem como objetivo possibilitar a participação dos estudantes na simulação de um experimento para explorar a

função/estrutura das enzimas, bem como, identificar os fatores que alteram a atividade enzimática, por exemplo, o pH, a temperatura e a concentração de substrato.

Momento I – Atividade de intervenção

Intervenção:

A intervenção será no sentido de conduzir o aprendiz a refletir sobre as potencialidades e limitações de representações 2D, 3D e animações (softwares).

Pensamos a mediação do ponto de vista da teoria Ausubeliana, em que o professor busca relacionar a nova informação com conceitos subsunçores prévios presentes na estrutura cognitiva do estudante. Para isso, foram utilizadas as concepções prévias dos estudantes obtidas através do questionário inicial e do modelo mental (representação interna que foi externalizada por meio do desenho). A transcrição da entrevista possibilitou planejar os conceitos fundamentais a serem trabalhados nesta atividade. Além disso, buscamos os conceitos fundamentos já relatados na literatura, os quais estão apresentados no mapa mental elaborado pela pesquisadora.

Embasamento teórico para planejamento da atividade:

A atividade de intervenção foi pensada com base nos princípios da teoria Ausubeliana, já que nosso objetivo maior é aprendizagem significativa dos conceitos sobre a interação enzima-substrato. Entendemos que esta perspectiva seja fundamentada com base na aquisição de novos conhecimentos, mediante a relação com proposições e conceitos relevantes já existentes e incorporadas de forma não arbitrária e substantiva na estrutura cognitiva do aprendiz. Pensamos em utilizar da aprendizagem conceitual, pelo fato do objetivo ser a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato.

A aprendizagem de conceitos³⁶ ocorre por meio do conhecimento de atributos característicos comuns pertencentes aos conceitos e, resulta da experiência direta através de sucessivas etapas de generalização, comprovação e generalização de hipóteses. De modo geral, a aprendizagem conceitual pode ser considerada uma aprendizagem representacional, já que os conceitos são representados por símbolos genéricos ou categóricos e representam abstrações dos atributos comuns dos referentes, portanto, representam equivalência entre objetos ou conceitos (AUSUBEL, 2002).

³⁶ Conceitos são entendidos na perspectiva de Ausubel (2002, p. 153) “*como, objetos, eventos, situaciones o propiedades que poseen unos atributos característicos comunes y se designan mediante el mismo signo o símbolo*”.

Dessa forma, quando o estudante adquire o significado mais genérico do fenômeno de “interação enzima-substrato”, esse símbolo passa a ser significante para uma aprendizagem subsequente. Nesta perspectiva, enquanto na aprendizagem representacional é estabelecida uma equivalência, em termos de significado, entre o símbolo (representação proposta para o fenômeno) e um referente (o fenômeno em si), na aprendizagem conceitual a equivalência se dá entre o símbolo e os atributos característicos comuns pertencentes a diversos exemplos do referente (diferentes situações onde há interação entre a enzima e o substrato).

Identificação das principais dificuldades dos estudantes:

- Conhecimento dos elementos químicos envolvidos na interação enzima-substrato, por exemplo, não pensar somente as interações eletrostáticas;
- Citar exemplos de enzimas;
- Considerar a ocorrência desse fenômeno e meio biológico (e não químico apenas);
- Considerar os aspectos químicos em meio biológico (não considerar somente os aspectos em meio químico);

Estas dificuldades e/ou equívocos foram identificados durante as entrevistas com os estudantes. No decorrer das atividades esperamos superar a dificuldade de compreensão conceitual dos estudantes.

Momento I – Atividade de intervenção

P- Recordar o que são enzimas (composição estrutural), substratos, produtos e suas funções (catalisadores químicos ou biológicos e diminuir a energia de ativação).

P- Onde as enzimas estão presentes?

Exemplo: A *lactase* é uma enzima que catalisa a hidrólise da lactose em glicose e galactose.

E- No organismo humano, por exemplo, na digestão.

Exemplos de enzimas	Local da atividade enzimática	Substrato
Ptialina	Saliva	Amido
Amilase	Suco pancreático	Amido
Pepsina	Suco gástrico	Proteínas
Quimotripsina	Suco pancreático	Proteínas
Tripsina	Suco pancreático	Proteínas
Lactase	Suco entérico	Lactose
Sacarase	Suco entérico	Sacarose

E- Na indústria química, por exemplo, na produção de detergentes.

Exemplos de enzimas	Aplicação	Substrato
Proteases	Detergentes para remoção de manchas e lavagem	Proteínas
Lactases	Remoção da lactose do leite (para pessoas com intolerância à lactose do leite)	Lactose
Celulase	Remoção de tintas e amolecimento do algodão (indústria têxtil)	Celulose
Peroxidase	Possui atividade antimicrobiana (produtos de higiene pessoal e beleza)	Peróxido de hidrogênio
Pectinases	Usada na produção de suco e vinho (indústria alimentícia)	Pectina ou Ácido pécico

P- Independentes do local de ação existem alguns aspectos químicos estão presentes em qualquer interação enzima-substrato, são eles:

- Interações químicas (interações eletrostáticas, ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas, por exemplo);
- Especificidade;
- Sítio ativo (ou catalítico);
- Mudança conformacional;
- Atividade cíclica da enzima;
- Transformações químicas.

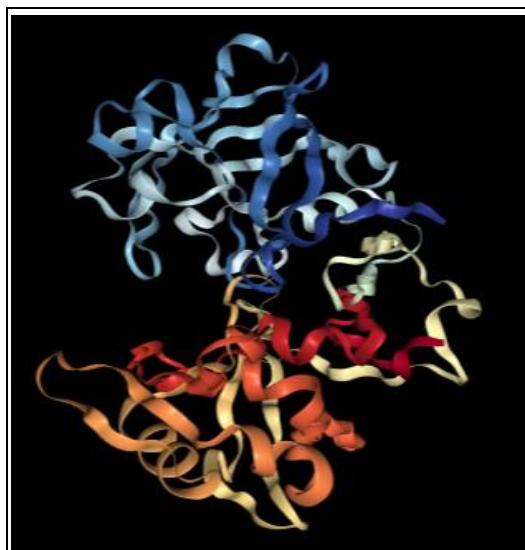
P- Exemplo de um mecanismo de ação enzimática da Quimotripsina.

Momento II – Atividade de intervenção

P- Apresentação de imagens em 3D, obtidas por meio da cristalografia de raio-X através do software PDB (Protein Data Bank):

- Exemplo de uma enzima humana:

Figura 30 – Representação 3D da enzima pepsina humana (Estrutura secundária)



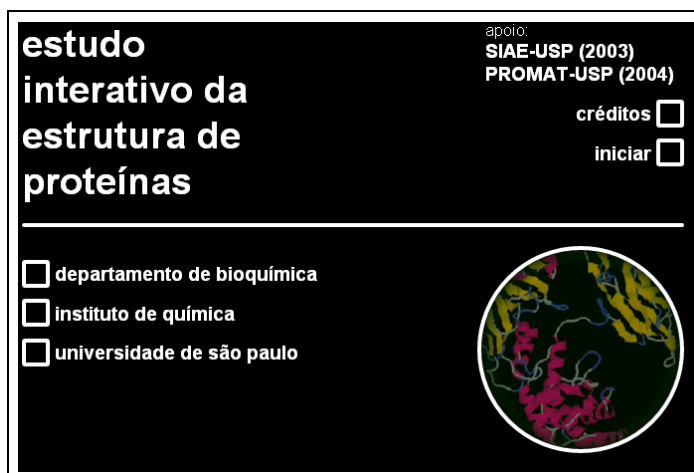
Fonte: Protein Data Bank (PDB). Disponível em: <https://www.rcsb.org/>.

- No banco de dados PDB é possível visualizar as representações da estrutura das enzimas, rotacionar e identificar os aminoácidos que compõem a estrutura.
- No PDB é possível visualizar a representação de enzimas de diversos organismos desde bactérias, fungos até às próprias plantas e organismo humano.
- As imagens da estrutura primária, secundária, terciária e quaternária das proteínas está disponível no link:
<https://www2.ib.unicamp.br/lte/bdc/acessandoGaleria2.php?idMaterial=771&idVersao=0&tipoArquivo=imagem&idioma=pt>

- Link para acesso aos softwares:

Software I: “Estudo interativo da estrutura e função de proteínas”

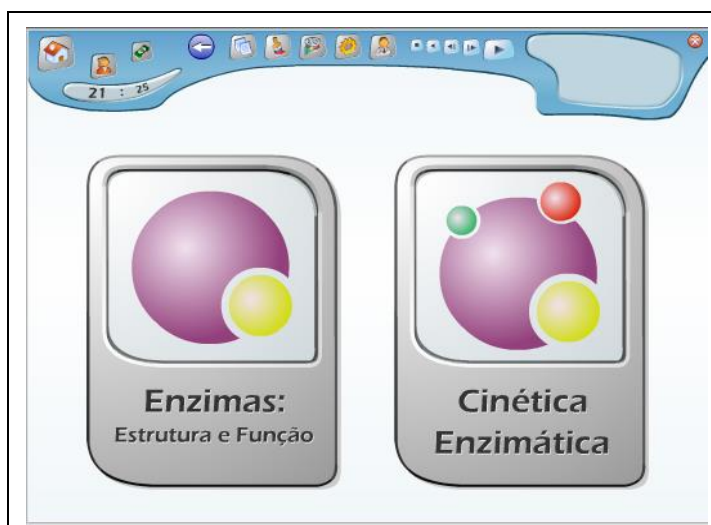
Figura 31 – Imagem da página inicial do software “Estudo interativo da estrutura e função de proteínas”



Fonte: disponível para download e versão on-line em:
<https://www2.ib.unicamp.br/lte/bdc/visualizarMaterial.php?idMaterial=247#.Wx8wmtQrLiw>.

Software II: “Enzyme”.

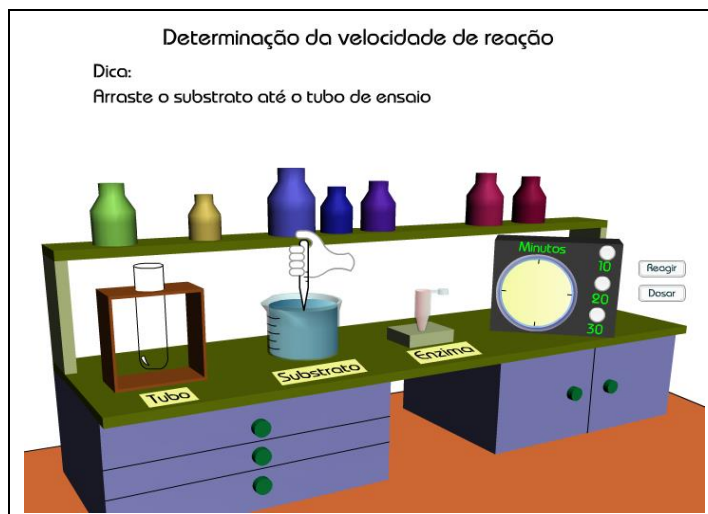
Figura 32 – Página inicial do software “Enzyme”



Fonte: disponível para download e versão on-line em:
<https://www2.ib.unicamp.br/lte/bdc/visualizarMaterial.php?idMaterial=528&nL=723#.WyBnYtQrLiw>.

Software III: “A cinética da reação enzimática”.

Figura 33 – Página inicial do software “A cinética da reação enzimática”



Fonte: disponível para download e versão on-line em:

https://www2.ib.unicamp.br/lte/bdc_uploads/materiais/versaoOnline/versaoOnline527_pt/Cinetica_bin/Cinetica.swf.

PROPOSTA DE ATIVIDADE DE INTERVENÇÃO 2

No primeiro momento da atividade de intervenção recordamos alguns conceitos fundamentais para compreensão da interação enzima-substrato. Esta atividade iniciou com os conceitos mais gerais sobre o conteúdo, com objetivo de alcançar conceitos intermediários, buscando a diferenciação progressiva dos conceitos. Neste segundo momento da intervenção, será realizada uma atividade em grupo, na qual três diferentes representações de mecanismos de ação de enzimas são discutidas entre os membros do grupo. O grupo será formado por três estudantes cada, no total foram formados cinco grupos.

Com base na teoria Ausubeliana, foram apresentados os conceitos mais específicos e menos inclusivos, por meio do entendimento das representações dos diferentes mecanismos de ação das enzimas, buscando a reconciliação integrativa dos conceitos.

Os objetivos são os mesmos do primeiro momento da intervenção, entretanto, esperamos também possibilitar a compreensão conceitual por meio da compreensão de elementos característicos comuns pertencentes aos conceitos, neste caso, os estudantes devem compreender que em diferentes situações onde ocorre a interação entre a enzima e o substrato (mecanismos de ação das enzimas) eu tenho a presença de elementos comuns a todas as situações. Estes elementos comuns seriam os mais gerais (interações químicas, especificidade, presença de sítio ativo, mudança conformacional, atividade cíclica da enzima e transformações

químicas) e aqueles mais específicos (formação de intermediários instáveis, rompimento de ligações químicas, dentre outros).

O uso de representações de mecanismos de ação das enzimas pode contribuir para o processo de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa dos conceitos (compreensão e relação entre os conceitos mais gerais e específicos). Além disso, a abordagem e a representação dos mecanismos de ação das enzimas, podem contribuir para o desenvolvimento de habilidades metavisuais dos estudantes (compreensão e relação entre os aspectos observáveis e não observáveis do fenômeno).

Dessa forma, a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato será por meio da equivalência entre as representações propostas para o fenômeno (símbolo) e os elementos característicos comuns pertencentes a diversos exemplos do referente (o fenômeno em si).

Objetivos:

- Possibilitar a aprendizagem significativa por meio da relação entre os conceitos fundamentais sobre a interação enzima-substrato com subsunçores identificados nas entrevistas e nos questionários;
- Possibilitar o estudante a transição entre os níveis do conhecimento químico, em especial o nível submicroscópico (nível atômico-molecular);
- Conduzir o estudante a repensar o modelo elaborado inicialmente.

Recursos:

- Artigos- apresentação de representações de três diferentes mecanismos de ação de enzimas de artigos científicos, que visam promover discussões a respeito das diferenças e similaridades das representações dos três mecanismos de ação de enzimas.
- Uso dos modelos 3D impressos, elaborados inicialmente pelos estudantes para realização de uma atividade em grupo, que visa contribuir para a aprendizagem do conceito de interação enzima-substrato.

Justificativa do uso dos recursos:

- A apresentação de representações químicas de mecanismos de ação enzimática por meio de imagens de artigos pode contribuir para a compreensão da complexidade da interação enzima-substrato, bem como os elementos característicos comuns aos mecanismos de ação de enzimas, promovendo a aprendizagem conceitual.

- A apresentação dos modelos 3D impressos elaborados pelos estudantes pode contribuir para a aprendizagem conceitual, já que o estudante poderá comparar os elementos característicos comuns entre os seus modelos 3D impressos com os modelos cientificamente aceitos, neste caso, os modelos de mecanismos de ação enzimática.

Procedimentos:

I Momento – Atividade de intervenção

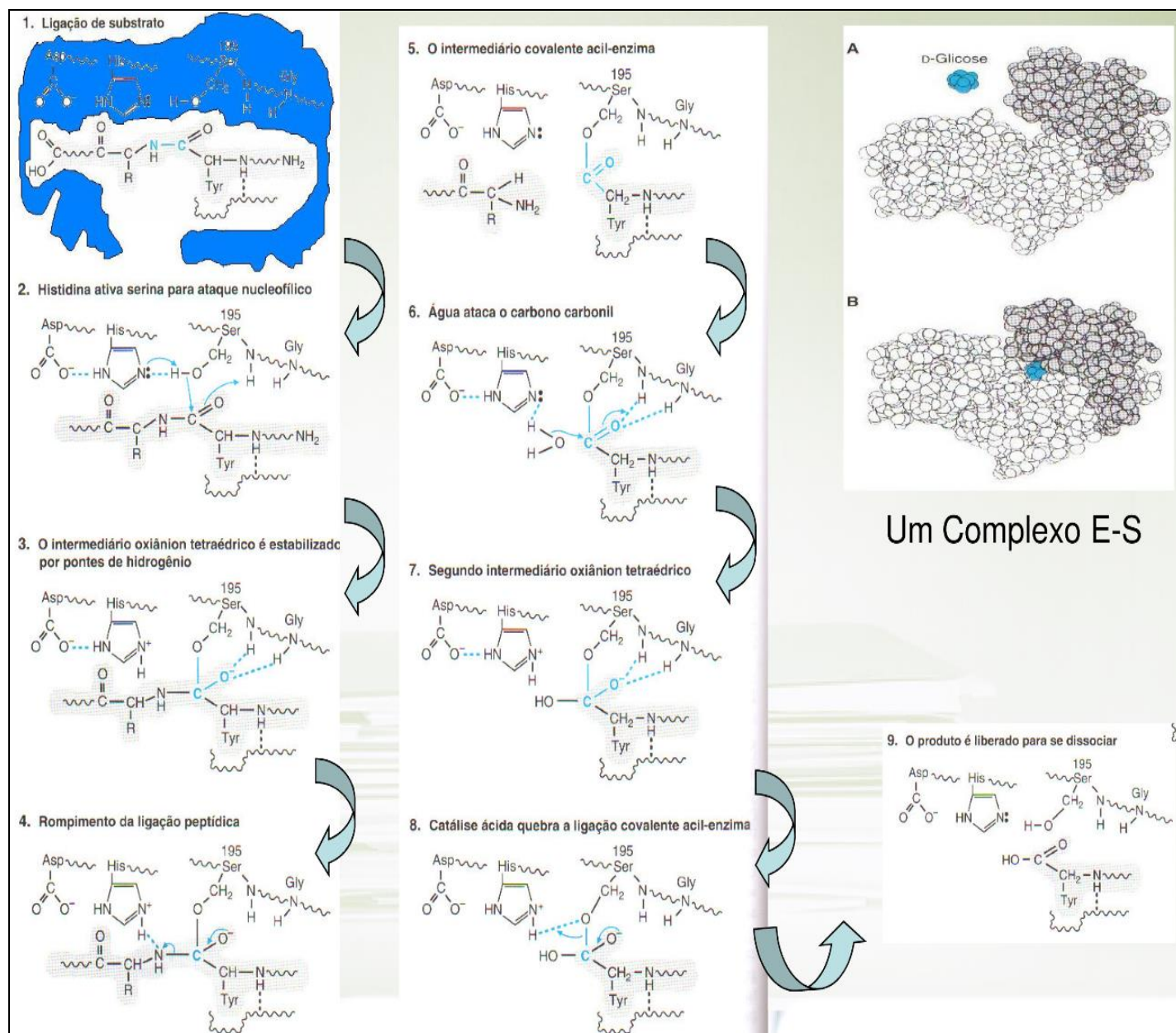
P- Relembrar que na última aula, observamos que independentemente do local de ação enzimática, existem alguns aspectos químicos estão presentes em qualquer interação enzima-substrato, são eles:

- Interações químicas (interações eletrostáticas, ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas, por exemplo);
- Especificidade;
- Sítio ativo (ou catalítico);
- Mudança conformacional;
- Atividade cíclica da enzima;
- Transformações químicas.

P- Foi apresentado um exemplo de um mecanismo de ação enzimática da Quimotripsina. Neste momento, os grupos foram formados para discussão de diferenças e similaridades entre três representações de mecanismos de ação de enzimas.

Artigo 1: Representação do mecanismo de ação da quimotripsina (etapas da catálise de proteínas pela Quimotripsina):

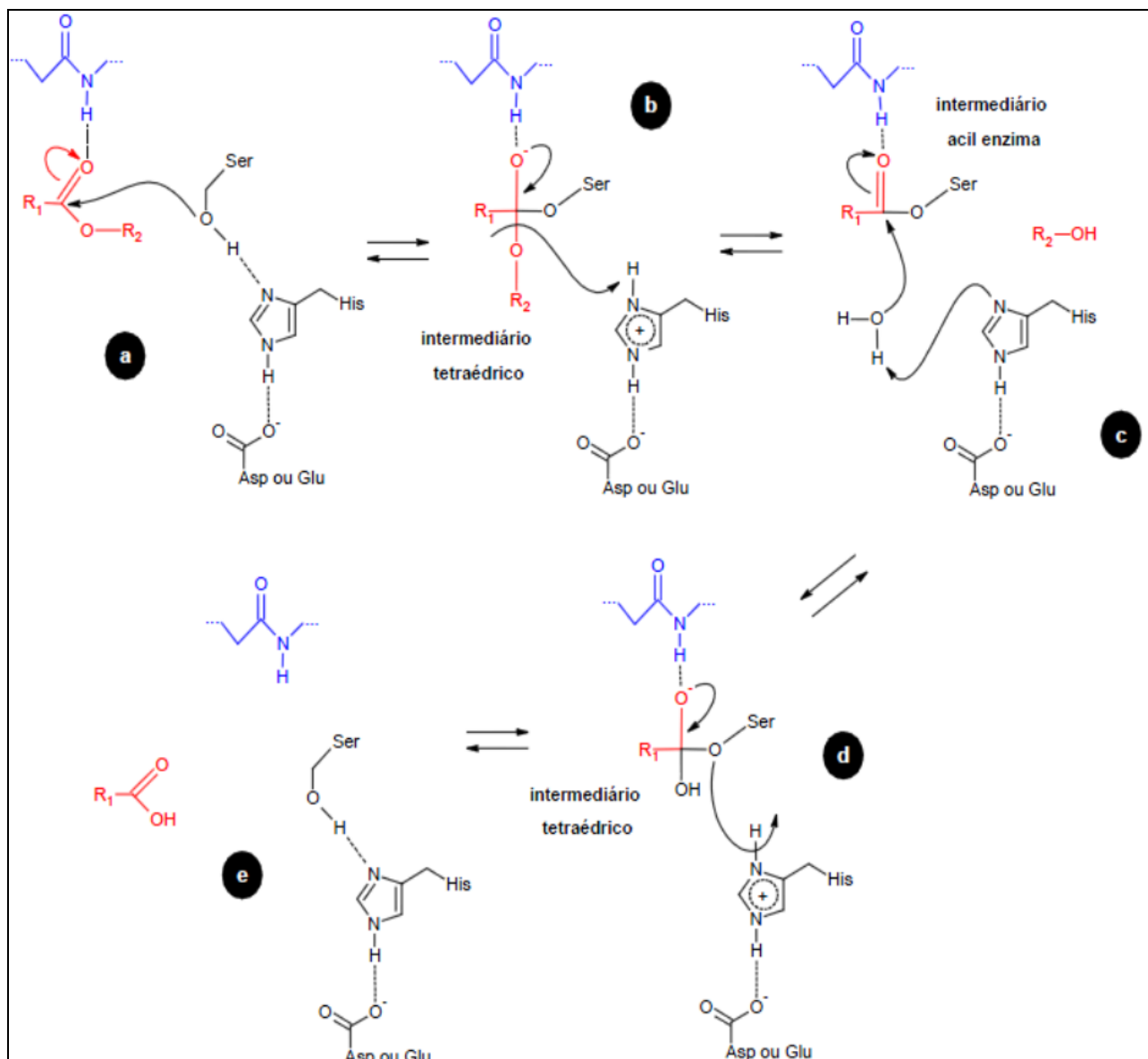
Figura 34 – Representação de um mecanismo de ação enzimática da quimotripsina



Fonte: SANGIOGO, F. A.; ZANON, L. B. Reflexões sobre modelos e representações na formação de professores com foco na compreensão conceitual da catálise enzimática. *Química Nova na Escola*, v. 34, n. 1, p. 26-34, 2012.

Artigo 2:

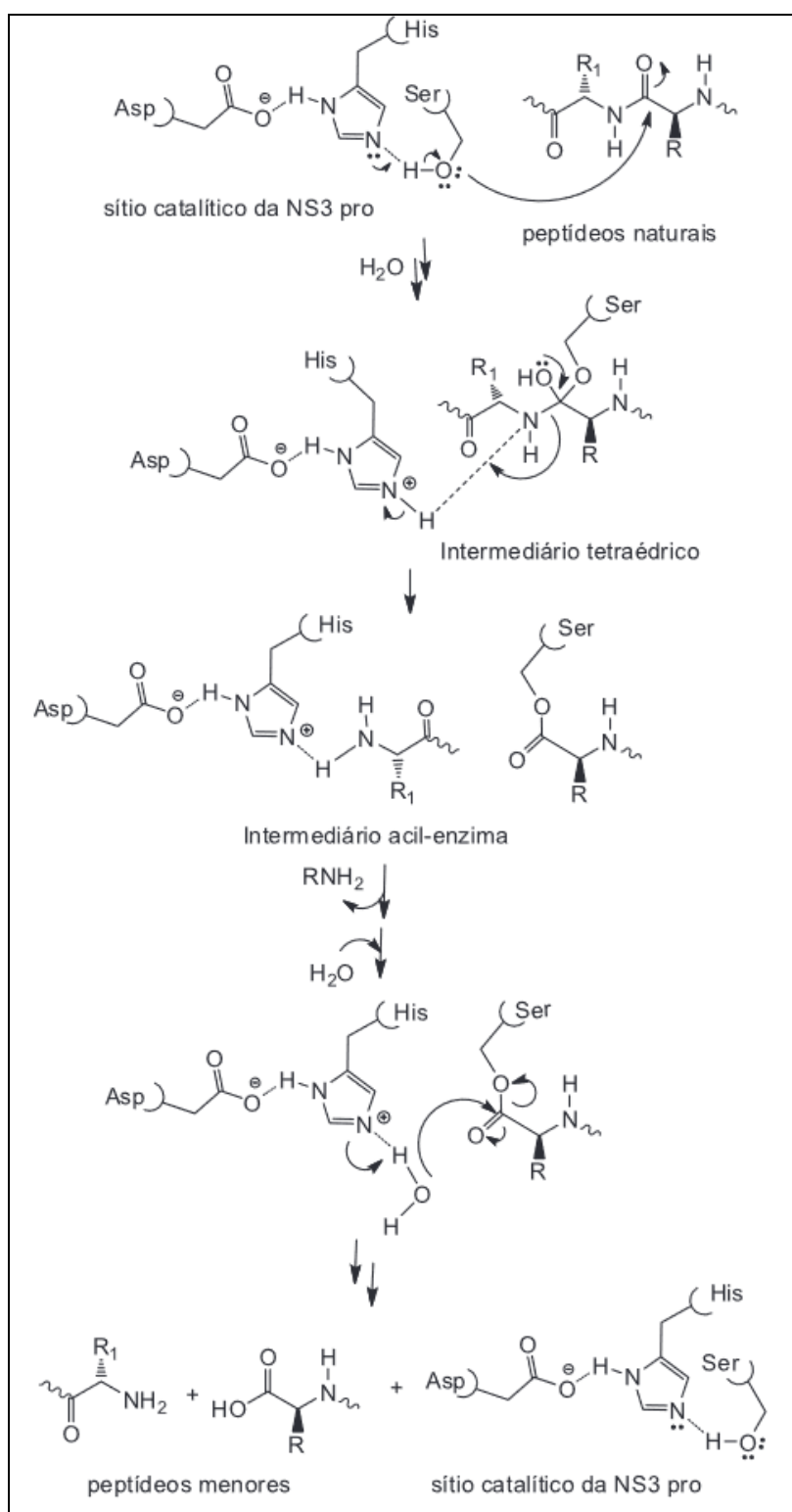
Figura 35 – Representação do mecanismo de ação de hidrólise de ligações éster catalisada por esterases e lipases



Fonte: VAZ, M.; CHOUPINA, A. Lipases: biocatalizadores da hidrólise de triacilgliceróis. *Revista Eletrônica de Biologia*, v. 5, n. 3, p. 42-58, 2012.

Artigo 3:

Figura 36 – Representação do mecanismo de ação das serina proteases



Fonte: MURI, E. M. F. Proteases virais: importantes alvos terapêuticos de compostos peptídomiméticos. **Química Nova**, v. 37, n. 2, p. 308-316, 2014.

Momento II – Reelaboração dos desenhos

Primeiro os estudantes elaboram as representações individualmente e em seguida, se reúnem em grupos (mesmo grupo da etapa de elaboração inicial) para escolherem em consenso um desenho.

Consideração final:

É importante destacar que o desenvolvimento histórico, bem como as diferenças entre os dois tipos de modelos que explicam a interação enzima-substrato não foram abordados nesse primeiro momento para não induzir a resposta aos estudantes, como, por exemplo, “o modelo encaixe induzido é o mais aceito pela ciência e permite compreender conceitos sobre a mudança conformacional, interações químicas, fenômeno não estático”, etc. Esta pode ser uma atividade a ser realizada nas etapas finais da pesquisa.

PROPOSTA DE ATIVIDADE DE INTERVENÇÃO 3

Objetivos:

- Possibilitar a aprendizagem significativa dos conceitos fundamentais sobre a interação enzima-substrato;
- Testar e avaliar os modelos 3D impressos;
- Apresentar as limitações dos modelos, sobretudo o modelo 3D impresso.

Recursos:

- Imagens 2D;
- Modelos 3D impressos elaborados;
- Representações (desenhos) elaboradas pelos estudantes.

I Momento – Atividade de intervenção

Retomamos que existem elementos comuns em qualquer mecanismo de ação enzima-substrato, são eles:

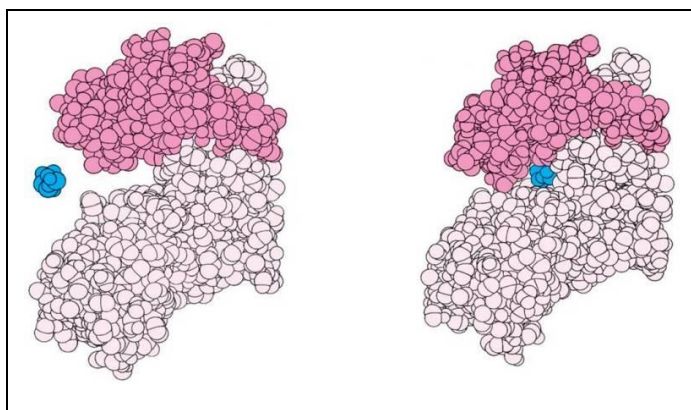
- Interações químicas (interações eletrostáticas, ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas, por exemplo);
- **Mudança conformacional** (os estudantes apresentaram maior dificuldade na elaboração do desenho, durante a intervenção II, por este motivo este conceito foi revisado);
- Especificidade;

- Sítio ativo (ou catalítico);
- Atividade cíclica da enzima;
- Transformações químicas.

Mudança conformacional

P. Como ocorre a mudança conformacional da enzima?

Figura 37 – Representações da mudança conformacional da enzima induzida pela ligação com o substrato



Fonte: SANGIOGO, F. A.; ZANON, L. B. Reflexões sobre modelos e representações na formação de professores com foco na compreensão conceitual da catálise enzimática. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 1, p. 26-34, 2012.

II Momento – Atividade de intervenção

Em um segundo momento, foram discutidos os conceitos de modelos e modelagem, a fim de situar os estudantes nas etapas da modelagem e possibilitar repensar as suas implicações para a formação docente.

- Retomar conceito de modelos:

Os modelos são a representação parcial de uma ideia, um fenômeno, um acontecimento, um objeto físico, construído a partir de um conjunto de ideias que se inter-relacionam na mente, que podem ser externalizadas e revelar as ideias do indivíduo ou de um grupo sobre um determinado conceito científico (BLANCO-ANAYA, JUSTI e BUSTAMANTE, 2017; JUSTI, 2006).

- Retomar o conceito de modelagem escolar e discutir sobre 5 elementos principais para o entendimento da natureza dos modelos na ciência.

1- O modelo é uma representação parcial (ou seja, pode ou não existir semelhança entre o modelo e a ideia a ser modelada), assim os modelos:

“não são a realidade”;
 “não são cópias da realidade” e
 “têm limitações”

2- Modelos não são “coisas”, ou seja, não necessariamente o objeto, a ideia ou fenômeno a ser modelado pode ser visualizado no cotidiano;

3- Os modelos não estão disponíveis na natureza, afinal os modelos são “construções da mente humana”;

4- Os modelos têm diferentes possibilidades de aplicação, por exemplo, fazer previsões e testar ideias;

5- Os modelos propostos pela ciência “podem ser modificados” a partir de novas ideias e teorias (JUSTI, 2010, p. 211; VASCONCELOS e ARROIO, 2013, p. 1246).

Apresentação do modelo 3D impresso elaborado:

P. Este é um modelo concreto. “Concreto” é um dos modos de representação química;

P. Quais são suas limitações, pensando o modelo como um recurso para o ensino e aprendizagem química?

- Exemplos a serem discutidos:

Resistência do material;

Falta de elementos visuais submicroscópicos;

Tempo/custo para sua produção.

II Momento – Atividade de intervenção – Continuação

Neste momento foi apresentada a evolução histórica dos modelos (modelo chave-fechadura e modelo ajuste induzido). O principal objetivo desta etapa foi de discutir sobre a diferença dos dois modelos e apresentar o modelo aceito atualmente pela Ciência para explicar a interação enzima-substrato. Entre as argumentações favoráveis ao uso do modelo de ajuste induzido em detrimento ao modelo chave-fechadura, é que o professor pode explicar a mudança conformacional da enzima, a especificidade da enzima pelo substrato e pode ajudar a superar a ideia de um processo estático, que ocorre por meio de um encaixe físico, mecânico.

A apresentação de representações químicas em 2D por meio de imagens de livros didáticos e artigos pode contribuir para a compreensão das limitações do uso do LD para o

ensino do conceito de interação enzima-substrato. Uma das imagens é a representação do mecanismo de ação da enzima quimotripsina, a qual está presente no suco pancreático.

Nesta atividade foram abordadas as limitações das representações de dois LD dos autores Marzzoco e Torres (2007) e Champe, Harvey e Ferrier (2006), os quais foram recomendados pelo professor responsável pela disciplina.

Figura 38 – Representações da interação enzima-substrato extraídas de Livros didáticos

Representações da interação E-S em Livros Didáticos (sacarase)

➔

Tais representações são suficientes para a compreensão bioquímica??

Modelo explicando a ação enzimática.

L.M.

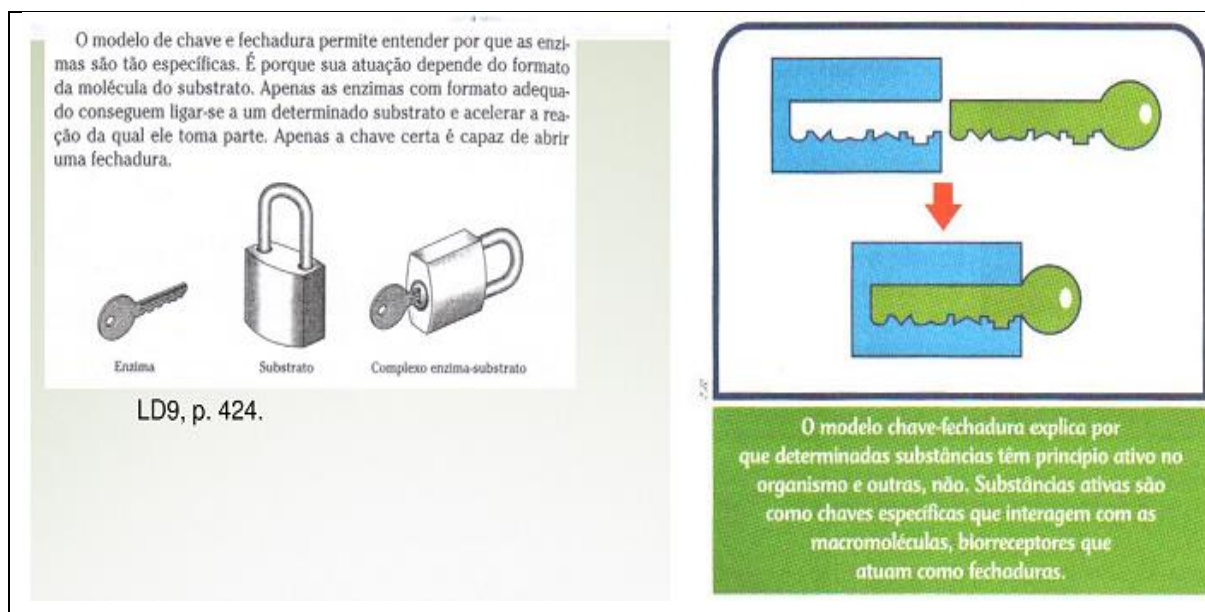
▲ Figura 3.29 • Modelo da chave-fechadura para a ação enzimática, aqui representando a enzima sacarase ou invertase. Ao se ligar à molécula de sacarose, a enzima facilita a quebra da ligação entre os monossacarídeos que a compõem, a glicose e a frutose, e é recuperada intacta ao final da reação, pronta para se associar a outros substratos.

Fonte: SANGIOGO, F. A.; ZANON, L. B. Reflexões sobre modelos e representações na formação de professores com foco na compreensão conceitual da catálise enzimática. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 1, p. 26-34, 2012.

Para refletir:

“O modelo chave-fechadura aborda toda a complexidade da interação durante a atividade enzimática?”

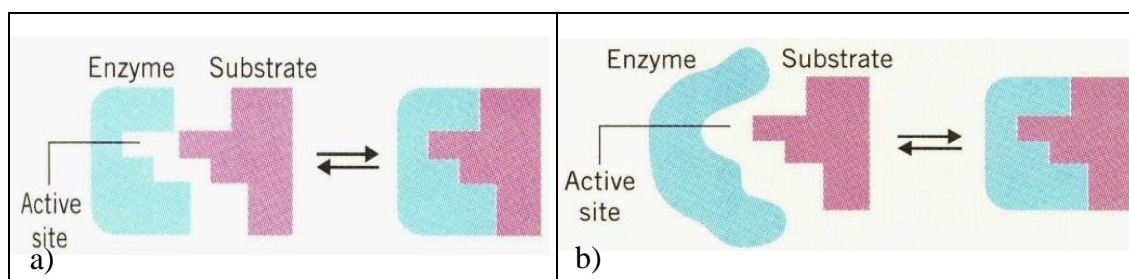
Figura 39 – Representações da interação enzima-substrato extraídas de Livros didáticos



Fonte: SANGIOGO, F. A.; ZANON, L. B. Reflexões sobre modelos e representações na formação de professores com foco na compreensão conceitual da catálise enzimática. *Química Nova na Escola*, v. 34, n. 1, p. 26-34, 2012.

P. Qual seria o modelo aceito pela ciência?

Figura 40 – a) Desenho do modelo chave-fechadura e b) Desenho do modelo ajuste induzido



Fonte: LINENBERGER, K. J.; BRETZ, S. L. Biochemistry students' ideas about how an enzyme interacts with a substrate. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, v. 43, n. 4, p. 213-222, 2015.

P. Porque utilizar o modelo de ajuste induzido?

Temas discutidos:

- O professor consegue explicar a mudança na conformação da enzima;
- Especificidade da enzima pelo substrato;
- Processo não é estático;
- Pode superar a ideia “do encaixe físico mecânico”.

P. O modelo chave-fechadura tem aplicação no ensino?

P. Pensando no Ensino de Química, qual seria a possível aplicação dos modelos 3D impressos elaborados?

O modelo de interação enzima-substrato pode ser relevante, por exemplo, para o ensino de diversos conceitos, como estereoquímica, complementaridade eletrônica (carga, hidrofobicidade e polaridade) e complementaridade geométrica (LINENBERGER, 2014). Além disso, podem ser adaptados para pessoas com deficiência visual (VAZ e colaboradores, 2012).

III Momento – Atividade de intervenção

Objetivo:

- Identificar elementos comuns nos modelos expressos com o modelo cientificamente aceito;
- Discutir sobre os modelos mentais reelaborados.

P. Qual representação se aproxima mais do modelo de ajuste induzido? Quais os elementos (aspectos químicos) que mais apareceram nas representações? Quais os elementos (aspectos químicos) que estavam faltando nas representações? Qual a limitação, pensando no ensino, do uso do modelo chave-fechadura?.

P. O que já foi realizado?

- Elaboração do modelo mental (desenho) e comunicação entre os membros dos grupos;
- Interação dinâmica no grupo e discussão das similaridades e diferenças do modelo consensuado pelo grupo;

P. O que será realizado?

- Discussão e socialização do modelo mental envolvendo toda a turma.

Teste e Avaliação dos modelos 3D impressos

Teste: Será realizado, com base, na comparação dos elementos comuns entre os modelos 3D impressos com o modelo cientificamente aceito;

Avaliação: O grupo pode identificar as abrangências e limitações do modelo

Perguntas a serem feitas:

“O modelo está coerente com o objetivo?”

“Possibilita ser utilizado em outros contextos?”

PROPOSTA DE ATIVIDADE DE INTERVENÇÃO 4

Esta atividade foi proposta a partir de sugestões dos próprios estudantes sobre as possíveis adaptações nos modelos, durante a reelaboração dos desenhos realizadas na atividade de intervenção 2. A ideia dos estudantes também foi observada nos desenhos, os quais identificaram nos desenhos o uso de etiquetas de papel de diferentes cores ou imãs. Além disso, o professor da disciplina de Bioquímica também havia sugerido o uso de imãs nos modelos, como possibilidade de representar as interações eletrostáticas.

Recursos:

- Cartolinas, papel de seda, papel Eva, imãs, tintas, cola quente, tesoura, pincéis, etc.

No final da atividade, um grupo, por vez, foi chamado para explicar o conceito de interação enzima-substrato utilizando o modelo 3D reelaborado. Para a realização desta atividade foi proposta o seguinte questionamento “Vocês são os professores e o conteúdo que será ensinado é a interação enzima-substrato e o recurso didático é o modelo 3D elaborado”. A explicação dos estudantes foi gravada e transcrita para o diário de campo.

Objetivos:

- Realizar adaptações nos modelos 3D impressos reelaborados pelos estudantes, pensando no seu uso para o ensino do conceito de interação enzima-substrato.

PROPOSTA DE ATIVIDADE DE INTERVENÇÃO 5

Em um primeiro momento retomamos que existem elementos comuns em qualquer mecanismo de ação enzima-substrato. Em seguida, retomamos o conceito de mudança conformacional e o motivo pelo qual o modelo de ajuste induzido pode ser utilizado para o ensino do conceito de interação enzima-substrato.

Objetivos:

- Testar e avaliar os modelos 3D impressos reelaborados;
- Apresentar as limitações dos modelos, sobretudo o modelo 3D impresso reelaborado;
- Discussão e socialização dos modelos concreto reelaborados envolvendo toda a turma;

- Apresentar os resultados parciais da pesquisa;
- Apresentar perspectivas futuras da pesquisa.

Recursos:

- Modelos 3D impresso de “ajuste induzido”;
- Imagens 2D.

I Momento – Atividade de intervenção

- Discussão dos Elementos comuns do modelo de ajuste induzido:
- Especificidade;
- Mudança conformacional;
- Atividade cíclica da enzima.

P. Quais elementos não codificados no modelo concreto poderiam ser adaptados?

- Sítio ativo (uso de tintas, papel ou texturas para representar);
- Interações químicas (uso de etiquetas, ímãs, etc);
- Transformações químicas (uso de etiquetas e peças adicionais).

Modelo de ajuste induzido 3D**Apresentação do modelo 3D impresso reelaborado**

Relembramos que o modelo de ajuste induzido é considerado um modelo concreto misto (modelo concreto com componentes visuais) e discutimos quais são suas limitações, pensando o modelo como um recurso para o ensino e aprendizagem química, por exemplo: resistência do material; falta de elementos visuais submicroscópicos; tempo/custo para sua produção e o uso de softwares pelos estudantes para elaboração dos desenhos. Em seguida, retomamos o assunto sobre a aplicação do modelo chave-fechadura para o ensino. Além disso, retomamos a discussão sobre a possível aplicação dos modelos 3D impressos elaborados, pensando no Ensino de Química.

II Momento – Atividade de intervenção

No segundo momento da intervenção, os modelos 3D impressos reelaborados foram utilizados pelos estudantes para discussão das limitações dos modelos concretos e modelos concretos mistos. Em seguida, foram comparados os elementos comuns nos modelos 3D impressos reelaborados com o modelo cientificamente aceito.

Objetivo:

- Identificar elementos comuns nos modelos concretos reelaborados com o modelo cientificamente aceito;
- Discutir as limitações dos modelos reelaborados.

P. Vamos discutir sobre os modelos 3D reelaborados

- Qual (is) modelos poderiam ser utilizados para ensinar o conceito de interação E-S?;
- Qual a limitação, pensando no ensino, do uso dos modelos concretos reelaborados?;
- Qual (is) foram as contribuições dos modelos 3D para a aprendizagem do conceito de interação E-S e de outros conceitos?;
- Qual (is) foram as contribuições da participação nas atividades de modelagem para formação docente?.

Em seguida, retomamos a discussão sobre as etapas da modelagem já realizadas, as quais se basearam na interação dinâmica no grupo e discussão das similaridades e diferenças do modelo consensuado pelo grupo. Ao final, apresentamos os resultados parciais da pesquisa e discutimos as perspectivas futuras da pesquisa.