



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LUCAS ROBERTO PERUCCI

**PRODUÇÃO DE MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES
SEMIÓTICAS PARA APROPRIAÇÃO DE CONTEÚDOS DE
BIOLOGIA CELULAR NO ENSINO MÉDIO**

Londrina
2020

LUCAS ROBERTO PERUCCI

**PRODUÇÃO DE MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES
SEMIÓTICAS PARA APROPRIAÇÃO DE CONTEÚDOS DE
BIOLOGIA CELULAR NO ENSINO MÉDIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ensino de Ciências e Educação
Matemática, área de concentração: Ensino

Orientador: Dr. Carlos Eduardo Laburú

Londrina
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Perucci, Lucas Roberto.

Produção de múltiplas de representações semióticas para apropriação de conteúdos de Biologia celular no ensino médio / Lucas Roberto Perucci. - Londrina, 2020.
210 f.

Orientador: Carlos Eduardo Laburú.

Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Multimodalidade - Tese. 2. Multimodos de Aprendizagem - Tese. 3. Ensino de Biologia Celular - Tese. I. Laburú, Carlos Eduardo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

CDU 37

LUCAS ROBERTO PERUCCI

**PRODUÇÃO DE MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES SEMIÓTICAS
PARA APROPRIAÇÃO DE CONTEÚDOS DE BIOLOGIA CELULAR
NO ENSINO MÉDIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ensino

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Fábio Ramos dos Santos
Universidade Federal do Rio Grande do Sul –
UFRGS

Prof. Dr. Gabriel Mathias Carneiro Leão
Instituto Federal do Paraná – IFPR

Prof. Dr. Marcelo de Carvalho
Universidade do Estado do Rio de Janeiro –
UERJ

Prof.^a. Dr.^a Tânia Aparecida da Silva Klein
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Marcelo Alves de Carvalho
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof.^a. Dr.^a Patricia de Oliveira Rosa da Silva
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 15 de junho de 2020.

Agradecimentos

Agradeço imensamente à minha companheira de vida e meu amor, Camila, por me estimular aos estudos, me apoiar e ser paciente nas horas difíceis.

Quero agradecer à minha mãe, que é diretamente responsável pelo meu interesse em ciências, por comprar revistas de dinossauros e plantas desde quando eu era pequenino. Agradeço ao meu pai, minhas irmãs e familiares pelas palavras de apoio.

Um especial agradecimento ao orientador Carlos Eduardo Laburú e a todo os integrantes do grupo de pesquisa. O professor Laburú sempre me impressionou com suas leituras apuradas e rigor teórico, características que me inspiram como pesquisador.

Outro especial agradecimento à Professora Patrícia de Oliveira Rosa da Silva, que lá pelos idos de 2011, me encantou com a área de Aprendizagem durante a orientação da Especialização em Ensino de Biologia, sua orientação na especialização fez com que eu mudasse os planos de prestar mestrado na Ecologia Vegetal.

Agradeço a todo corpo docente e técnico da Universidade Estadual de Londrina e a todos os defensores da Universidade Pública, que me permitiram cursar a graduação e pós-graduação nesse campus de excelência.

Também agradeço todo os servidores do Instituto Federal do Paraná, que colaboraram com a diretamente com a execução da pesquisa, mas também com todos aqueles que criaram uma instituição de ensino técnico, de variados níveis, dando a oportunidade para que os docentes se qualifiquem e tenham carga horária destinada à pesquisa. Essa tese não existiria sem todos vocês. Sou também grato

aos 'sujeitos de pesquisa da tese', a todos os alunos do IFPR que colaboraram com a pesquisa com empenho e dedicação.

Dos tantos amigos que precisam ser nomeados, deixo um agradecimento à Patrícia, ao Tárík e ao Venâncio, pelas conversas, debates e apoio durante esses quatro anos.

E por fim, sou grato aos dois grandes cientistas e divulgadores da ciência, ao Carl Sagan e ao Stephen Jay Gould, que me influenciaram para a difícil tarefa de abordar assuntos complexos para um público amplo.

*“A educação dos cinco sentidos é tarefa de toda a história universal até
agora”*

*“Toda ciência seria supérflua se a forma de manifestação e a essência das
coisas coincidissem imediatamente”*

Karl Marx

PERUCCI, Lucas Roberto. **Produção de múltiplos registros de representação semióticos para apropriação de conteúdos de Biologia celular**. 2020. 213 f. Tese. (Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, 2020.

RESUMO

Os conteúdos de Biologia Celular têm por natureza um conjunto de representações microscópicas e submicroscópicas, sendo que sua compreensão é essencial para a aprendizagem. Para uma apropriação de conceitos mais efetiva, a abordagem da multimodalidade versa que devemos variar e interpretar as distintas formas de exposição, com um enfoque em promover desafios representacionais que estimulem a expressão de representações próprias dos estudantes. Com o intuito de investigar a alternância de múltiplas representações próprias e canônicas em uma turma de Ensino Médio Técnico, foram elaboradas unidades didáticas que propiciassem a intensa produção dessas representações, que perpassam a filmagem e narração de experimentos, a construção de analogias visuais e desenhos dos fenômenos moleculares. Referenciais da semiótica foram utilizados para analisar o conjunto de significados, e assim, desvelar os conceitos que foram compartilhados pelo docente e aprendizes. Como resultados tem-se que um ambiente de maior liberdade para a produção de registros beneficia a obtenção de expressões mais idiossincráticas e revela ao docente informações importantes sobre a apropriação de conceitos.

Palavras-chave: Multimodalidade. Multimodos de aprendizagem. Ensino de biologia celular.

PERUCCI, Lucas Roberto. **Production of Multiple Semiotic Representations Records for Concepts Appropriation of Cell Biology** 2020. 213 p. Thesis. (Postgraduate Program in Science Teaching and Mathematics Education) – State University of Londrina, 2020.

ABSTRACT

Cell Biology contents have, by nature, a set of microscopic and submicroscopic representations whose understanding is essential for learning. For a more effective appropriation of concepts, the multimodal approach states that we must vary and interpret the different forms of representation, focusing on promoting representational challenges that stimulate the expression of students' own expressions. In order to investigate the alternation of multiple own and canonical representations in a class of Technical High School, we elaborated didactic units that favored intense production of these representations, which included filming and narrating the experiments, building visual analogies and drawing molecular phenomena. Semiotics references were used to analyze the set of meaning, and thus, unveil concepts shared between teacher and learners. As a result, an environment of greater freedom for the production of records benefits the achievement of more idiosyncratic expressions and reveals to the teacher important information about students' appropriation of concepts.

Keywords: Multimodality. Learning multimodes. Teaching of cell biology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conceito de Signo.....	31
Figura 2 – Exemplo do Eixo Paradigmático.....	35
Figura 3 – Eixo Sintagmático e Paradigmático.....	36
Figura 4 – Divisão celular em técnica de microscopia de luz com fluorescência	52
Figura 5 – Microscopia Eletrônica de Transmissão.....	52
Figura 6 – O processo da analogia	54
Figura 7 – Mapa do desenvolvimento da proposta.....	64
Figura 8 – Imagem de Células em Técnica de Espectroscopia de Infravermelho.....	65
Figura 9 – Micela.....	71
Figura 10 – Print do MAXDQA	77
Figura 11 – Processo analítico das Etapas Três, Quatro e Cinco	78
Figura 12 – Processo Analítico da Etapa Seis	79
Figura 13 – Representação da Molécula de Detergente	84
Figura 14 – Representações da molécula de detergente.....	84
Figura 15 – Desenhos Refinados.....	86
Figura 16 – Desenho de Células dos Estudantes	89
Figura 17 – Representação Canônica de Célula Animal.....	91
Figura 18 – Lâmina de corte do epidídimo	92
Figura 19 – Foto de Microscopia Eletrônica de Varredura	94
Figura 20 – Representação da Membrana Plasmática	95
Figura 21 - Desenhos das Membranas Plasmáticas	96
Figura 22 – Representações da Difusão	99
Figura 23 – Frame do Vídeo de Transporte Celular	102
Figura 24 – Frame do Vídeo de Transporte Ativo	105
Figura 25 – Representações da Osmose.....	106
Figura 26 – Processo de Osmose	109
Figura 27 – Osmose em Células Animais e Vegetais	111
Figura 28 – Gráfico da ação das enzimas na energia de ativação das reações	114

Figura 29 – Complexo Enzima e Substrato.....	114
Figura 30 – Desenhos de Atividade Enzimática.....	115
Figura 31 – Aumento da Atividade Enzimática.....	119
Figura 32 – Gráficos da Atividade Enzimática.....	122
Figura 33 – Preparo do Abacaxi.....	126
Figura 34 – Preparo das gelatinas.....	127
Figura 35 – Comparação entre as gelatinas.....	128
Figura 36 – Frames do Vídeo.....	129
Figura 37 – Molécula de Cadeia Longa.....	129
Figura 38 – Analogia de Tecido.....	130
Figura 39 – Apresentação da bromelina.....	131
Figura 40 – Analogias Visuais.....	132
Figura 41 – Analogia do Grupo 1.....	133
Figura 42 – Preparação do Experimento.....	142
Figura 43 – Adição de Abacaxi Cozido.....	143
Figura 44 – Final do Experimento com Abacaxi Cru.....	143
Figura 45 – Final do Experimento com Abacaxi Cozido.....	144
Figura 46 – Rompimento de ligação Peptídica.....	144
Figura 47 – Analogia do Grupo 2.....	145
Figura 48 – Representação da balança.....	153
Figura 49 – Preparação do Experimento.....	154
Figura 50 – Adição de água destilada.....	154
Figura 51 – Desenho da diferença de densidade.....	155
Figura 52 – Tabela da variação das massas dos ovos.....	155
Figura 53 – Representação do meio Hipotônico.....	156
Figura 54 – Representação do meio hipertônico.....	156
Figura 55 – Analogia Visual do Grupo 3.....	158
Figura 56 – Preparação da solução hipertônica.....	165
Figura 57 – Preparação da Solução Hipotônica.....	166
Figura 58 – Dados iniciais de Massa.....	166
Figura 59 – Legenda sobre o preparo.....	167
Figura 60 – Legenda do vídeo sobre o preparo.....	167

Figura 61 – Imagem dos Beckers com os Ovos.....	168
Figura 62 – Explicação do Experimento.....	168
Figura 63 – Analogia 1	169
Figura 64 – Analogia 2	171

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relações paradigmáticas das categorias Aminoácido e Colágeno.	134
Quadro 2 – Relações Paradigmáticas da categoria Degradação Enzimática	135
Quadro 3 – Relações Paradigmáticas da categoria Enzimas.....	137
Quadro 4 – Paráfrase síntese do experimento do Grupo 1	138
Quadro 5 – Relações paradigmáticas das categorias Aminoácidos e Colágeno	147
Quadro 6 – Relações paradigmáticas da categoria Degradação Enzimática.....	149
Quadro 7– Relações Paradigmáticas da categoria Enzimas	149
Quadro 8 – Sintagma do Grupo 2	150
Quadro 9 -Relações paradigmáticas da categoria Concentração das Soluções.....	159
Quadro 10 - Relações Paradigmáticas da Categoria Osmose	160
Quadro 11 – Relações Paradigmáticas da Categoria Membrana Semipermeável..	161
Quadro 12 – Sintagma do Grupo 3	162
Quadro 13 – Relações paradigmáticas da categoria Concentração das Soluções .	172
Quadro 14 – Relações paradigmáticas da categoria Osmose	173
Quadro 15 – Relações paradigmáticas da categoria Membrana Semipermeável...	174
Quadro 16 – Sintagma do Grupo 4	174

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	17
CAPÍTULO 2 - MULTIMODALIDADE NA APRENDIZAGEM.....	22
2.1 Os multimodos de representação.....	22
2.2 Bases da Semiótica de Saussure.....	30
2.3 Teorias da aprendizagem e Multimodalidade.....	39
CAPÍTULO 3 - MULTIMODOS DE BIOLOGIA CELULAR COM ANALOGIAS E RECURSOS AUDIOVISUAIS	49
3.1 As representações dos conceitos de Biologia Celular.....	49
3.2 As analogias e os Recursos audiovisuais para a aprendizagem.....	53
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA E AMBIENTE DA PESQUISA	59
4.1 O Ambiente da Pesquisa.....	59
4.2 Metodologia da Pesquisa	61
4.3 Critérios para a apropriação de conceitos	80
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E ANÁLISE DAS REPRESENTAÇÕES PRODUZIDAS EM AULA	83
5.1 Aula 1 – Estrutura da Membrana Plasmática e Transporte de Substâncias.....	83
5.2 Considerações da Aula 1	102
5.3 Aula 2 – Osmose.....	104
5.4 Considerações da Aula 2	111
5.5 Aula 3 – Atividade Enzimática	113
5.6 Considerações da Aula 3	123
5.7 Comentários gerais	124
CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS FILMADOS .	126
6.1 Análise do Grupo 1 – Atividade Enzimática.....	126
6.2 Síntese das relações paradigmáticas e sintagmáticas do Grupo 1	134
6.2.1 Conclusões da Análise do Grupo 1	139

6.3 Análise do Grupo 2 – Atividade Enzimática.....	142
6.4 Síntese das relações paradigmáticas e sintagmáticas do Grupo 2	147
6.4.1 Conclusões da Análise do Grupo 2	151
6.5 Análise do Grupo 3.....	153
6.6 Síntese das relações paradigmáticas e sintagmáticas	159
6.6.1 Conclusões da Análise do Grupo 3	163
6.7 Análise do Grupo 4.....	165
6.8 Síntese das relações paradigmáticas e sintagmáticas do Grupo 4	172
6.8.1 Conclusões da Análise do Grupo 4	175
CONSIDERAÇÕES FINAIS	177
REFERÊNCIAS.....	180
ANEXOS	187
9.1 ANEXO A – Transcrição da Aula de Estrutura da Membrana plasmática	187
9.2 ANEXO B – Transcrição da Aula de Osmose	196
9.3 ANEXO C – Transcrição da Aula de Enzimas.....	204
9.4 ANEXO D – Transcrição do Debate das apresentações.....	207

INTRODUÇÃO

Com a intenção de colaborar com as pesquisas dentro do referencial de *multimodalidade* representacional para a aprendizagem de Biologia Celular, esta investigação se propõe a desenvolver uma Unidade Didática e analisar os percursos de aprendizagem de estudantes de Ensino Médio nesse temário. Com o intuito de estimular variações discursivas, há um foco em intercalar representações denominadas canônicas, quando já estabelecidas pela literatura científica, e as próprias, que constituem formas de expressão de pouco rigor científico.

A disciplina de Biologia, e em especial a Biologia Celular, é composta por uma riqueza de representações, que contemplam o uso intensivo de imagens microscópicas, representações submicroscópicas, gráficos, tabelas, desenhos esquemáticos e figuras. Dada a ubiquidade dessas formas de expressão nos materiais didáticos, há uma demanda em compreender como utilizá-las de modo eficaz no processo de aprendizagem.

O enfoque do autor em trabalhar com os registros de representação dos conceitos teve sua gênese a partir de 2011, no trabalho de monografia da Especialização em Ensino de Biologia da Universidade Estadual de Londrina. Nesse trabalho, utilizamos uma brincadeira proposta por Krasilchik (2004) em que se simulava uma cadeia alimentar, dados de variação da população eram gerados e transpostos para tabelas, gráficos e linguagem verbal, baseados nos princípios de formação, tratamento e conversão de Duval (1995).

Ao ingressar no Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática da UEL, me debrucei sobre os estudos o da linguagem escrita e suas variações, as paráfrases, com uma proposta baseada nos eixos estruturantes da linguagem, os paradigmas e

sintagmas, para um uso mais efetivo do registro escrito, na aprendizagem de conteúdos de Ecologia. Conforme minhas investigações sobre as representações, houve interesse em aprofundar os estudos a partir do referencial dos multimodos de representação, designados como as variadas formas possíveis de representar os conceitos científicos. Esse referencial vai ao encontro de uma inquietação de minha prática docente ao ensinar conteúdos que demandam modelos do universo microscópico, sendo rotineira a dificuldade na aprendizagem desses temas.

A abordagem da multimodalidade é inserida no contexto de profundas transformações do mundo contemporâneo, em que há uma revolucionária transição na forma como a informação é produzida e os meios em que é disseminada. Essas mudanças envolvem *a passagem da impressão em papel para os meios eletrônicos* e a mudança *de um modo focado na escrita para um mundo povoado de vídeos, gestos, imagens, figuras e textos em plataforma digitais* (KRESS, 2010; KRESS et al., 2001). Nesse contexto de transformação, há uma fricção sobre as perspectivas da “monomodalidade” e da multimodalidade. O ângulo debatido pelos autores em Kress et al. (2001) é a existência de uma persistente posição “monomodal” que privilegia a linguagem escrita ou falada, como forma plenamente capaz de articular a expressão do pensamento e a compreensão do ouvinte.

Dessa forma, a multimodalidade se insere em uma posição marcadamente distinta, em não aceitar que a linguagem escrita ou verbal consegue fazer todo o trabalho semiótico significante da sociedade. Ao considerar que os seres humanos são por sua natureza fabricantes de variados signos, surge a demanda de uma semiótica que analise um mundo dominado pela produção de multimodos de representação (BEZEMER; KRESS, 2008; KRESS; LEEUWEN, 2006).

Nós não temos análises consistentes do impacto do avanço dos meios de comunicação da última década na aprendizagem científica. A velocidade com que novas informações são produzidas, transformadas e disseminadas por redes sociais, plataformas de vídeos e aplicativos de mensagens, superam o alcance que o ensino regular possui. Há uma plasticidade em produzir e recriar novos significados a partir de gifs, memes e vídeos, em síntese de novas imagens e textos a partir de material diverso, em ricas analogias visuais e escritas.

O que julgamos consistente é que o modo de emissor e receptor, característico de um tipo de interação em sala de aula, já foi ultrapassado por essas formas muito plásticas de interagir e produzir novos conteúdos. Uma boa analogia seria de que um professor do século passado era um bebedouro de informação, enquanto hoje nossa principal tarefa é a de ensinar os aprendizes a nadar em uma enxurrada de informações, por regulares vezes deliberadamente falsas e incorretas, mas com grande potencial de influência.

O ensino conservador da disciplina de Biologia, caracterizado pelo excesso de verbalismo, macetes para memorizar nomes e funções de estruturas e interpretação de desenhos padronizados e canônicos, pode ser influenciado para que as formas de expressão parafraseadas, mais singulares e permeáveis ao campo conceitual dos estudantes de ensino se tornem predominantes. O trabalho é desafiador para que o rigor científico não seja menosprezado, mas pouco adianta as estratégias inflexíveis de manutenção do rigor se os conceitos são apenas repetidos de forma irrefletida, funcionando apenas no universo da sala de aula.

Assumidos os pressupostos da multimodalidade a respeito da variação das representações canônicas e estímulo às próprias, podemos resumir a inovação da tese em duas frentes: no campo dos significantes, estimulamos durante as aulas a

prática de produzir seus próprios desenhos e refletir a respeito deles, e ao final, o experimento filmado é um modo mais amigável aos alunos, já que é rotineiro nessa faixa etária a produção de vídeos; no campo dos significados, inserimos um público-alvo imaginário, que não é o docente ou a sala de aula, e estimulamos a adaptação da linguagem, com paráfrases próprias e o uso de exemplos e analogias para colaborar com a explicação.

Considerados os desafios de aprendizagem de conteúdos de representação microscópica e molecular de Biologia Celular e em consonância com a abordagem dos multimodos de representação, a problemática definida é: em atividades orientadas para a produção de multimodos de representação em conteúdos de Biologia Celular, de que forma os significados compartilhados, fundamentados na alternância de representações próprias e canônicas, propiciam a expressão e apropriação de conceitos?

Para desenvolver as respostas frente ao tema anunciado, no Capítulo 2 – *Multimodalidade na Aprendizagem Científica* discutimos multimodalidade nos principais aspectos de produção, interpretação e refinamento das representações. Como referencial teórico para compreender o que são as diversas representações, utilizamos o referencial das semióticas de Saussure e Barthes, que também são a base teórica de nosso instrumento analítico. Ainda no Capítulo 2, nos lastreamos pelas teorias de aprendizagem dos investigadores da cognição soviéticos Vigotski e Luria, com seus estudos sobre a mediação da linguagem para a aprendizagem. Discorreremos também sobre a filosofia de Bakhtin-Volóchinov, que abordam o diálogo entre os falantes enquanto pré-requisito para a compreensão de algo.

No Capítulo 3 – *Multimodos de Biologia Celular com Analogias e Recursos Audiovisuais*, Nessa seção traçamos um breve histórico das representações dos

conceitos de Biologia Celular até a atualidade. E exibimos um compêndio das pesquisas em aprendizagem de Biologia Celular que utilizam modos de representação com o uso de analogias e recursos audiovisuais, como recursos para a aprendizagem. Com base na análise das pesquisas realizadas, sustentamos a nossa proposta com os multimodos de representações que elencamos para a essa tese

O Capítulo 4, *Metodologia e Ambiente da Pesquisa*, descreve nossa matriz analítica baseada nos eixos estruturantes da linguagem, os paradigmas e sintagmas, os critérios para a apropriação de conceitos e a forma de provocar as variações discursivas e imagéticas.

No Capítulo 5, *Resultados e análise das representações produzidas em aula*, discutimos os resultados e a análise de três aulas, que abordam os conteúdos de Membrana Plasmática, Transporte Celular, Osmose e Atividade Enzimática.

No Capítulo 6, *Resultado e análise dos experimentos filmados* é apresentada a análise de quatro vídeos em que os estudantes constroem um experimento sobre Osmose e Atividade Enzimática, com o desafio de explicá-lo para um público amplo com o uso de variadas formas de representação.

Como finalização, no Item 7, apresentamos nossas conclusões e indicações de caminhos para a continuação da pesquisa. As referências são apresentadas no Item 8 e os anexos com as transcrições de todos os materiais no Item 9.

MULTIMODALIDADE NA APRENDIZAGEM

2.1 Os multimodos de representação

A área de Ensino de Biologia e Ciências possui variadas tendências teóricas em investigar e propor práticas que enriqueçam e reflitam o modo como os estudantes aprendem. Ao considerar que os materiais didáticos contêm diversas formas de representar os conceitos científicos, em tabelas, gráficos, textos, figuras e diagramas, torna-se um fecundo campo de estudo investigar a forma como são utilizadas, percebidas e apropriadas essas representações em situações de aprendizagem (HUBBER; TYTLER; HASLAM, 2010). Tal asserção sobre a ampliação das pesquisas das variadas formas de representação, ou *multimodalidade*, tem influência no Brasil, com mais de uma centena de dissertações e teses sobre o tema, sendo 60% delas concentradas na área de educação (GUALBERTO; SANTOS, 2019).

É essencial distinguir o que são as “múltiplas representações” e os “multimodos”, porque ambos os conceitos podem se sobrepor, embora expressem categorias irreduzíveis entre si.

As múltiplas representações se referem à capacidade do discurso científico de representar o mesmo conceito ou processo de diferentes formas (TYTLER; PRAIN; PETERSON, 2007). Os sistemas semióticos têm recursos que nos permitem representar os significados de diferentes formas. Por exemplo, o ato de escalar uma árvore pode ser representado em uma frase, em um desenho, com uma mímica,

com música (LEMKE, 1990). Isso requer que a ação da representação possa se associar com outra, a partir de seus significados, ou seja, os recursos semióticos de um sistema interagem com o significado de outro (LEMKE, 1990). Embora a linguagem seja o sistema semiótico mais versátil (LEMKE, 1990), a ciência é melhor caracterizada em uma rica síntese de linguagem, matemática e representações visuais (LEMKE, 1998, 2001, 2004).

A multimodalidade é definida pela expressão do discurso em diferentes *modos*, ao restringirmos para o ensino e aprendizagem de ciências, compreende o conjunto de representações dos conceitos, raciocínios e descobertas científicas (WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006). Esses modos são variados, podem ser *modelos tridimensionais*, que expressam materiais concretos que podem ser vistos e tocados, o *verbal*, que inclui a fala e a escrita, o *simbólico*, que contempla as equações, fórmulas químicas e álgebra. Há também o modo *visual*, que reúne os gráficos, desenhos, fotografias, animações, diagramas, em que predominam as faculdades da visão para a sua interpretação e os modos *gestuais* em que o movimento de todo o corpo também expressa conteúdos (GILBERT, 2013; HAND; MCDERMOTT; PRAIN, 2016).

A variedade de modos e sua ubiquidade em nossa sociedade contemporânea estão intimamente relacionadas com os recursos semióticos advindos das mídias digitais (KRESS, 2010). Os modos não podem ser confundidos com seus *meios físicos de divulgação*, uma foto pode estar impressa em um livro ou exposta em um *tablet*, e ainda, estar dentro do modo visual, assim como o modo verbal aparece em uma sala de aula e em um vídeo gravado. A reflexão de Kress (2010) é que a expansão das câmeras fotográficas, redes sociais, *smartphones*, livros digitais e computadores, potencializou o papel da expressão de conteúdos em multimodos.

Prain e Tytler 2013) reforçam que as técnicas modernas científicas que vão da biologia celular até a astronomia também produzem intensamente conteúdos em variadas modalidades.

Nas situações de ensino em que se objetiva a apropriação organizada de conteúdos científicos, justifica-se um olhar atento pela maneira em que essas representações são analisadas, integradas e produzidas pelos estudantes. A proposta envolve utilizar de modo consciente um misto de modos e representações para as explicações científicas (BEZEMER; KRESS, 2008; HAND; MCDERMOTT; PRAIN, 2016; LEMKE, 1990, 2004), com o objetivo de promover uma aprendizagem efetiva, que deve focar na compreensão de cada uma das representações, na tradução de uma representação em outra e em sua coordenação (TYTLER et al., 2005). Assim, enquanto o conceito de múltiplas representações versa sobre o potencial de expressão de dado conceito em diferentes formas, com enfoque no plano do significado e do conteúdo, o de multimodalidade implica em compreender a representação dos conceitos em diferentes modos, voltados ao plano do significante e da expressão.

Em suma, a expressão das múltiplas representações em distintos modos tem por objetivo integrar a representação dos processos, conceitos e descobertas científicas e utilizá-las para a aprendizagem científica, o que implica na maior atenção dos docentes para em elencar, propor e executar a representação dos conceitos científicos (TYTLER; PRAIN; PETERSON, 2007).

Ao discorrer sobre as representações, ora as tratamos como um evento externo, que pode ser visualizado, ora enquanto um processo interno, alinhado aos fatores do intelecto e da cognição. Essa dicotomia é útil para classificarmos as representações enquanto externas e internas, e ainda, relacionar como o

desenvolvimento de ambas pode beneficiar a aprendizagem. As representações externas são as que estão disponíveis no ambiente, como os objetos, os mapas, os gráficos e a linguagem, não importando se são mais concretas como um prédio, ou mais abstratas, como um adjetivo (RAPP; KURBY, 2008). As representações internas não estão disponíveis no ambiente, mas são mantidas na mente das pessoas, em nossos pensamentos privados. Isso inclui as memórias de nossa infância, o número de janelas de nossa casa, memórias na forma de imagens, contemplando todas as representações não manipuláveis fisicamente (RAPP; KURBY, 2008).

Para Duval (1999), as representações internas são *representações mentais* e permitem que um objeto seja imaginado em ausência de qualquer veículo material do signo, também chamado de significante. Contemplam o conjunto das representações que podem ser externalizadas, percebidas no ambiente, manipuladas e convertidas para outro tipo de representação, denominados *registros de representação semiótica*. Aqui Duval se apoia em Vigotski (2009) ao conceber o conjunto de representações mentais enquanto o processo de internalização das representações semióticas, que se inicia com a linguagem verbal. Dessa forma, toda apreensão conceitual, definida como *noesis*, se desenvolve simultaneamente com o ato de uma representação semiótica, chamada de *semiosis* (DUVAL, 1999). O autor parte da premissa de que não há como ocorrer desenvolvimento das representações mentais sem que haja novos sistemas semióticos que simbolizem esses objetos. A partir desses pressupostos, não há uma forma de compreensão de um conteúdo, sem que se expresse uma forma de representação desse mesmo conteúdo. Uma definição detalhada do que são e como se relacionam os registros semióticos, ou signos, será abordada na próxima seção.

A proposta dos multimodos de representação compreende que os indivíduos são intrínsecos *meaning-makers*, ou “construtores de sentido” (KRESS, 2010), que ativamente buscam seus recursos semióticos disponíveis para expressar e interagir com o ambiente. Portanto, uma abordagem coerente para o ensino e aprendizagem demanda envolver alguns princípios (TYTLER et al., 2013): a) as sequências de ensino são baseadas em desafios representacionais, b) as representações são explicitamente debatidas, c) a aprendizagem envolve um mapeamento das representações e das percepções e d) um processo contínuo de avaliação formativa.

Os detalhes da proposta de Tytler et al. (2013) partem do planejamento do assunto a ser ensinado. Os professores precisam inventariar os recursos representacionais dos conceitos-chave que desejam abordar, para que durante a aula, as necessidades representacionais possam ser identificadas ao longo do processo de ensino e aprendizagem. Ao estabelecer quais são as necessidades representacionais essenciais, os estudantes podem explorar as questões do fenômeno em questão. Nesse momento, são apoiados para *coordenar* representações *próprias e canônicas* por meio de variados modos, para responder aos problemas postos. Em sequência, há um processo de alinhamento das construções dos estudantes em paralelo com as canônicas, em que há interpretação, refinamento e expressão dos seus entendimentos. Por fim, o docente e os estudantes se engajam em um processo de avaliação e coerência das representações efetuadas (TYTLER et al., 2013).

Essa abordagem salienta um papel preponderante ao docente na organização de cada etapa da construção das representações dos estudantes. Os professores precisam inicialmente *esclarecer* quais são os conceitos centrais subjacentes e suas respectivas formas de representação, para guiar os principais

pontos do trabalho representacional. O docente precisa lastrear os desafios e coordenar essas representações para desenvolver explicações e resolver problemas. Nesse processo, há de se estabelecer diálogos entre as representações próprias e as representações canônicas, com a interferência do docente entre o que foi iniciado e o que foi sintetizado (TYTLER et al, 2013). Compreende-se assim que o docente deve saber manejar e interpretar adequadamente todas as formas de representação de dado conteúdo para que uma eficiente aprendizagem baseada na multimodalidade possa ser desenvolvida.

Essa organização do processo de ensino-aprendizagem instiga os estudantes a representar, justificar e refinar os problemas estabelecidos, com a compreensão das formas e funções de cada um dos registros semióticos em suas distintas formas, visuais, escritas, verbais, gráficas, e, em como integrar e fazer afirmações dos assuntos (HAND; MCDERMOTT; PRAIN, 2016). Os estudantes *são encorajados a buscar formas alternativas de representação dos conteúdos científicos*, para que consigam traduzir a linguagem científica em formas mais aparentadas e, por conseguinte, desenvolver meios mais criativos para essa expressão (HAND; MCDERMOTT; PRAIN, 2016).

Dessa forma, uma linha de reflexão sobre o uso das representações é que há um excesso em interpretar imagens prontas, construídas, definidas como “canônicas”. Essas são as imagens consagradas pela literatura especializada, usualmente vinculadas a determinado fenômeno científico (AINSWORTH; PRAIN; TYTLER, 2011). Em oposição, esses autores enfatizam que o ato de desenhar, de produzir suas próprias representações em imagens, deveria ser um elemento chave para a aprendizagem de ciências. As afirmações baseiam-se em que notórios cientistas, como Faraday e Maxwell, exploravam suas ideias por meio de

representações visuais. Isso implica em reconhecer que imagens próprias podem ser estratégias de ensino e aprendizagem, para demonstrar a apropriação de conceitos e comunicar seus entendimentos aos colegas (AINSWORTH; GALPIN; MUSGROVE, 2007).

Como uma síntese para esse desafio de dialogar com representações próprias e canônicas, Prain e Tytler (2013) enfatizam três princípios para os pressupostos de construção de representações: que se criem desafios representacionais para que os estudantes expressem suas próprias representações do fenômeno; que haja avaliação, negociação e refinamento dessas representações com discussões em grupo e coletivas; e que ocorram discussões explícitas sobre o papel das representações na aprendizagem e no conhecimento científico. Dessa forma, mais do que usar uma estratégia de aprendizagem com várias representações, a multimodalidade implica em reconhecer que cada forma de representação possui lacunas e potenciais heurísticos, que não há predomínio da linguagem escrita frente a outras formas de representação, mesmo que essa linguagem seja denotativa e altamente objetiva para a explicação do conceito.

Em paralelo com essas etapas de produção, negociação e refinamento, há as indicações de que os professores precisam afirmar o caráter arbitrário de qualquer representação. Não existe uma representação “completamente correta”, que contempla a totalidade de um conceito, os estudantes precisam aprender a reconhecer as variadas representações que são necessárias ao trabalho de compreensão daquele conceito (TYTLER et al. 2013). Esse processo envolve um diálogo persuasivo e crítico sobre a adequação de cada representação, fazendo com que os aprendizes sejam estimulados a possuir coerência em suas interpretações e produções.

Quando consideramos a linguagem verbal e escrita, há um secular campo de investigação sobre a dialogicidade e as mútuas interferências que ocorrem entre sujeitos que se expressam (VOLÓCHINOV, 2017), e em como alternam-se os conceitos espontâneos e os científicos mediados pela linguagem (VIGOTSKI, 2004, 2008; VIGOTSKI; LURÍÁ; LEONTIEV, 2005). Há também pesquisas voltadas para o específico papel das analogias e metáforas (verbais e escritas) na aprendizagem, com estratégias que estimulam o uso de “análogos”, formas inovadoras de associação verbal e/ou escrita com conceitos-alvo. O uso das analogias possui estudos bem estabelecidos e pedagogias estruturadas para a sua aplicação consciente (BANDEIRA, 2009; DUARTE, 2005; DUIT, 1991; TREAGUST, 1993, 1997; TREAGUST; HARRISON; VENVILLE, 1987).

Todavia, a proposta de aproveitar o potencial heurístico de desenhos próprios e informais, alternados aos canônicos, para explicar fenômenos submicroscópicos ainda é pouco representada, com exemplos da evaporação da água do álcool (TYTLER; PETERSON; PRAIN, 2005; TYTLER; PRAIN; PETERSON, 2007), absorção e evaporação de água em plantas e agitação de moléculas em aquecimento (HAND; MCDERMOTT; PRAIN, 2016) e representação de circuitos elétricos (FRANZONI; LABURÚ; SILVA MOURA, 2011). Não encontramos trabalhos que retratassem os fenômenos de processos biológicos. Ademais, com o intuito de provocar variações ainda mais singulares nas representações próprias, nossa proposta envolve a construção de “analogias visuais”, representadas a partir de imagens e textos, para instigar maior conexão entre os multimodos de representação e o compartilhamento de significados.

Portanto, temos um campo a ser explorado em elencar os desafios representacionais das áreas da Biologia, e nesta tese, debateremos a construção de

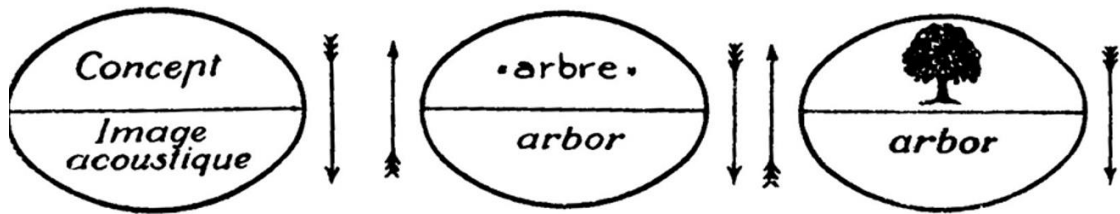
representações sobre tópicos de Biologia Celular. Nosso objetivo é desenvolver uma unidade didática com a perspectiva da multimodalidade que favoreça a interpretação, negociação e produção de representações mais genuínas dos estudantes. Ao propormos o uso de múltiplas representações, uma variedade de sentidos é expressa e demanda determinado ângulo para que sua análise seja efetuada. Na seção seguinte, iremos abordar a semiótica de Saussure, com a definição das categorias de signo, significado e significante, e de que forma os modos e as representações se relacionam por meio dos eixos estruturantes da língua, identificados por paradigmas e sintagmas.

2.2 Bases da Semiótica de Saussure

Ao abordarmos os conceitos de representação e modo, o primeiro foi definido pelas formas possíveis em que dado conteúdo pode ser expresso nos diversos modos, ou, sistemas semióticos da linguagem, imagem, gestos e símbolos. Para efetuar comparações entre os sentidos das distintas representações e modos, vamos relacioná-los com os *signos*, baseado aqui na semiologia de Saussure.

O signo linguístico em uma primeira aproximação une a partir da fala um conceito e uma imagem acústica, o primeiro mais abstrato e o outro como uma imagem sensorial, que nossos sentidos testemunham (SAUSSURE, 2012). A união de um conceito com uma imagem acústica forma o signo, são vinculados por uma associação e mutuamente dependentes. A Figura 1 expressa essa relação entre ambos.

Figura 1 – Conceito de Signo



Fonte: Saussure (2012)

Aqui temos um exemplo da imagem acústica em operação, sua cristalização na palavra “árvore”, que nos remete a algum conceito de árvore, e como exposto na terceira figura, à representação de uma árvore estilizada. Dessa forma, Saussure (2012) substitui “conceito” por “significado” e “imagem acústica” por “significante”, de forma que o primeiro remete ao conjunto de categorias conceituais do signo, enquanto o segundo é o veículo que expressa o significado. Dessa forma, entende-se por significante toda a porção material do signo e o significado o conceito veiculado por essa parte material (COELHO NETTO, 2007). Não há, portanto, signo na ausência do significante ou do significado.

Essa união é essencial pelos signos não se comportarem como entidades semióticas fixas, mas sim um ponto de encontro entre sistemas distintos, em que os planos de expressão (ou de significantes) são convencionalmente correlatos aos planos de conteúdo (ou de significados). O signo então, é justamente essa intersecção (ECO, 2002). A união entre ambos é arbitrária, sendo que significantes muito distintos têm significado idêntico, como a palavra “boeuf” em francês e “ochs” em alemão, para os que compreendem a língua, ambas vão possuir o significado de “boi” (SAUSSURE, 2012), sendo a relação do som que desperta determinada ideia, arbitrária desde a sua origem (DEPECKER, 2009). O arbitrário não pode provocar a ideia de que é de “livre escolha” do falante, pois Saussure (2012) considera que não é do alcance do indivíduo inverter o significado de um signo caso ele já esteja

estabelecido em um grupo linguístico, a arbitrariedade aqui evoca a noção de “imotivado”, não há laços naturais entre os significantes e significados na realidade.

A ideia de signo não se restringe à língua, embora a considere enquanto o sistema de signos mais relevante (ECO, 2002), isso nos revela que há signos linguísticos e não linguísticos, que também incorporam os mesmos pares de significantes e significados. Ocorre que nos signos linguísticos, podemos decompor períodos, orações, até chegar a palavras simples e que ainda possuem sentido, ou *unidades de significação* (COELHO NETTO, 2007). Essa significação é concebida como ato que une o significante ao significado, expresso em determinado signo (BARTHES, 2012). E como poderíamos decompor o conjunto de signos em sistemas não linguísticos, como as compostas de imagens? A ideia de *unidades significativas* é a menor unidade em que há uma face significante e uma face significada, chamada de *monemas*, e, qualquer ente que não haja sentido em si, são concebidas como *fonemas* (BARTHES, 2012).

Os conceitos de monemas e fonemas atravessam sistemas de signos diferentes, os monemas são as menores unidades de significação em uma porção de imagem ou palavra, enquanto os fonemas podem compor um traço ou marca que possui apenas um papel “referenciais” (COELHO NETTO, 2007) ou sons desprovidos de qualquer significado (BARTHES, 2012).

Posto que há intencionalidade no processo de junção dos significantes e significados para efetuar a comunicação, temos um *processo de significação*, que localiza o uso dos signos em determinado tempo e espaço (COELHO NETTO, 2007). Caso uma pessoa seja apresentada a uma palavra que desconhece, como “Hoya”, isso aparece a ela como um puro significante, embora caso queira pesquisar em alguma fonte saberá que se trata de um gênero de plantas, conhecidas como

“flor-de-cera”. Nesse momento, o indivíduo que não conhece o significado não desenvolve a significação.

Ocorre que em um sistema de signos, o conjunto de significados não produzirá uma significação estática, porque quando cada um desses se influenciam, alteram o próprio processo de significação, sendo que a significação *não pode* ser confundida com o significado de um signo (COELHO NETTO, 2007). Saussure (2012) introduz aqui a ideia de *valor*, de como a combinação de signos, a depender da posição em que se encontram, também interferem na produção de *sentido*. Aqui o signo é compreendido não pela sua constituição própria, mas pelos seus contornos (BARTHES, 2012), pelo conjunto de outros signos que o influenciam em dada situação.

O exemplo de Barthes (2012) envolve a palavra inglesa *mutton*, que significa carne de carneiro e *sheep*, que significa carneiro. O signo de *mutton* só consegue extrair seu significado a partir de uma relação de valor com o signo *sheep*. Aqui há uma troca de coisas não semelhantes, a palavra (o significante *mutton*) demanda a relação com o significado do signo “*sheep*” (e daí deriva seu significado), e simultaneamente, também há a relação apenas entre os significantes. A palavra pode ser trocada por uma ideia, mas também comparada com outra palavra. (BARTHES, 2012). Seria como trocar determinada quantia de dinheiro, R\$ 5,00, por exemplo, por determinada quantia de balas, ou chocolates ou doces. Aqui estabelecemos uma relação de comparação, entre elementos distintos (dinheiro e guloseimas). Mas também podemos comparar as notas por similaridade, quantas notas de R\$ 5,00 seriam equivalentes a uma de R\$ 50,00. Dessa forma, o sentido de algo só pode ser fixado pela dupla determinação da significação (relação do

significante com o significado) e o valor do signo se encontra em oposição, em seu contorno, no que está em sua volta (BARTHES, 2012; COELHO NETTO, 2007).

O conjunto da ideia de significação e valor constitui a ideia de língua para Saussure, em que utiliza uma potente analogia com uma partida de xadrez. O jogo de xadrez não depende da natureza de suas peças, sejam de madeira, marfim ou metal, assim como a língua não depende de nenhum substrato ou materialidade para ser explicada (DEPECKER, 2009). Para melhor expressarmos a analogia, faremos uma pequena digressão sobre o xadrez. As peças individualmente possuem uma significação, elas têm significados estáveis na forma como se movimentam (cavalo em “L”, bispos na diagonal) e em pontuação, relacionada à capacidade de interferência da peça (peões valem 1, cavalos e bispos valem 3, torres valem 5 e rainhas, 9). Ocorre que a depender do momento do jogo e dos seus objetivos, a combinação das peças para efetivar um xeque-mate ou forçar um empate se alteram, o próprio valor das peças só é dado relativamente à posição em que se encontram, e não apenas individualmente. Há situações que mais valem um peão ou um bispo do que uma rainha. Nessa analogia com o xadrez, Saussure (2012) reforça a determinação entre a significação (estável, pontuação das peças), com a posição em que elas se encontram no tabuleiro e na língua (o valor). O processo em que cada novo signo adicionado altera o conjunto do sentido do que deseja ser dito é análogo aos movimentos do xadrez, em que a alteração da posição das peças modifica seus valores relativos às outras. (DEPECKER, 2009). Assim há uma dupla determinação do sentido de algo, uma derivada da significação (a junção significante-significado) e do valor (da rede de interferências dos signos em outros).

Quando esses signos são postos em movimento, selecionados dentro do repertório do sujeito e expressos, seu desenvolvimento é dado a partir de dois eixos

estruturantes da linguagem, nomeados eixos paradigmáticos e sintagmáticos, ou eixos associativos e extensivos. A linguagem articula de modo combinado eixos verticais (paradigmas) e eixos horizontais e extensivos (sintagmas), produzindo cada um desses eixos formas mentais necessárias ao discurso (BARTHES, 1972) Uma característica da linguagem é sua linearidade, pois impede que dois signos sejam repetidos ao mesmo tempo, seus significantes aparecem como uma linha com os elementos formados um após os outros (SAUSSURE, 2012).

O eixo paradigmático é formado a partir das associações mentais possíveis de cada unidade de significação. Uma dada palavra pode evocar qualquer coisa que lhe seja suscetível e passível de ser associada (SAUSSURE, 2012), tanto pelo significado, quanto pelo significante, como expresso na Figura 2.

Figura 2 – Exemplo do Eixo Paradigmático



Fonte: Saussure (2012)

A Figura 2 tem na primeira e segunda linhas uma cadeia associativa de “ensinamento” a partir do significado. O exemplo mostra uma série de verbos e substantivos que se relacionam diretamente com o monema “ensinamento”. A terceira e a quarta linhas expressam associações com o significante, em que um sufixo “ento” (que não é um monema, pois não há processo de significação nessa

porção isolada) é relacionado com palavras de sufixo idêntico. O eixo paradigmático não apresenta um número definido e nem é possível dizer antecipadamente qual é o número ou ordem de palavras que surgem na memória (SAUSSURE, 2012). Barthes (1972) ressalta que associações operam de forma positiva e ao mesmo tempo diferencial. Um paradigma entre “do/da”, a preposição “d” é o elemento positivo, enquanto os artigos “o” e “a” são os diferenciais. No exemplo da Figura 2, a primeira e segunda linhas possuem a forma positiva a partir do significado (relativos a ensinamento) e dessemelhantes em seus significantes.

A relação do eixo sintagmático, ou eixo extensivo, se dá pelo aumento das unidades de significação durante a fala. A adição de elementos na cadeia da fala gera uma *solidariedade sintagmática* em que as unidades subsequentes interferem no sentido das anteriores, pois não falamos por signos isolados, mas por grupos de signos organizados (SAUSSURE, 2012). Dessa forma, o sintagma aparece com uma ordem na sucessão dos signos, com um número definido.

Figura 3 – Eixo Sintagmático e Paradigmático

o A	pelota bola	penetrou entrou	no na	rede gol
	balão redonda	adentrou		véu da noiva

Fonte: Coelho-Netto (2007)

A Figura 3 expressa as categorias do paradigma e do sintagma, que possuem a mesma interdependência na semiologia de Saussure como o significante/significado e significação/valor. Aqui se apresentam os dois eixos: um vertical (paradigmático) e outro horizontal (sintagmático). Ao escolher um signo, o

sujeito tem um repertório que designa a bola de futebol (pelota, balão, redonda), uma série de verbos (penetrou, adentrou, entrou) e gol, rede ou véu da noiva. Ao formar a frase “a pelota entrou no gol”, ou, “o balão adentrou na rede”, o indivíduo procedeu em uma seleção coerente, dentre os seus signos disponíveis (COELHO NETTO, 2007). Como dois elementos não podem ser pronunciados ao mesmo tempo, cada novo termo tira seu valor na oposição que o precede e que o segue, em uma cadeia de palavras. Dessa forma, a relação do sintagma se manifesta na expressão, *in praesentia*, enquanto que os termos do nível paradigmático estão unidos na memória *in absentia* (BARTHES, 1972).

Ocorre que os paradigmas e sintagmas não são categorias apenas constituintes da linguagem, mas de todo e qualquer sistema que possua signos, em uma infinidade de casos (COELHO NETTO, 2007). Barthes (1972) cita como exemplos o vestuário, a comida e a arquitetura. Ao nos vestirmos, podemos usar toucas, gorros e boinas; calças, saias e shorts; casacos, camisetas e blusas, cada posição (cabeça, membros inferiores e superiores), possuem um repertório de possibilidades, enquanto que a justaposição de um conteúdo: calça, blusas e gorros, corresponde ao eixo sintagmático. Um arquiteto de um templo grego tem em sua disposição colunas distintas (dóricas, jônicas, coríntias) e uma organização para combinar essas colunas e levantar o prédio (BARTHES, 1972).

Ao refletir especificamente sobre as imagens, um dos modos de representação que analisaremos nessa tese, Barthes (1990) descreve as imagens como portadoras de múltiplos sentidos, imersas em uma cadeia flutuante de significados, que leva interrogações a respeito de seu sentido. Assim, a imagem tem em geral uma função elucidativa, por meio de um processo chamado de *ancoragem* ou *fixação*, em que uma porção dos signos da imagem é destacada a partir de uma

relação com a linguagem (BARTHES, 1990). Aqui nos apresenta a diferença entre as relações paradigmáticas e sintagmáticas em imagens: enquanto os dois eixos estruturantes são *temporais* na linguagem, por sucederem uns aos outros e não serem exprimíveis ao mesmo tempo, nas imagens os paradigmas e sintagmas possuem relações *espaciais*, pois todos os signos aparecem simultaneamente.

Ao nos orientarmos por meio da abordagem dos multimodos de representação, teremos uma série de modos (linguagem, visual e simbólico) em que os significados estão distribuídos nas diferentes representações dos conceitos científicos. Nessas variadas expressões, por meio da semiologia, nos é permitido chegar a denominadores comuns na atividade analítica. O caminho da formação do signo, com o par significado/significante, decorre um processo de significação. A dualidade entre significação/valor, com a conseqüente formação do sentido geral, será o objeto em análise, por meio dos eixos paradigmáticos e sintagmáticos que nos possibilitam comparar o conjunto de signos produzidos.

Em nosso trabalho orientado para a aprendizagem científica, há de se considerar a cadeia de associações e extensões que serão geradas a partir das múltiplas representações produzidas pelos estudantes. Nossa intenção é a de produzir um repertório diversificado (paradigmático), que guarde relações com os conteúdos científicos e que possam ser expressos de variadas formas. Todavia, essas expressões de contigüidade entre os conceitos também precisam ser restringidas, por meio do eixo sintagmático, que permite comparar o conjunto de uma frase, imagem, animação e verificar se o conjunto dos signos é apropriado para representar determinado fenômeno.

A próxima seção apresentará as teorias que nos embasam quanto ao uso dos sistemas semióticos e a apropriação de conceitos científicos.

2.3 Teorias da aprendizagem e Multimodalidade.

Apresentaremos as teorias que inspiram a proposta de ensino-aprendizagem, vinculadas às concepções de desenvolvimento cognitivo Vygotsky, da teoria sobre os registros de representação semióticos de Duval e das ideias filosóficas de interação discursiva de Bakhtin e Volóchinov.

O pressuposto da teoria de desenvolvimento advogada por Vygotsky é que o indivíduo interage, forma os sentidos e os conceitos do mundo mediados pela linguagem. Essa concepção aponta que o sujeito não apreende os fenômenos do mundo diretamente em sua mente e depois os nomeia, porque um discurso aparece como uma forma de comunicação desarticulada no desenvolvimento infantil e só depois como atividade de reflexão interior (VYGOTSKY, 2004). Por meio da linguagem interiorizada é que o sujeito concebe e se apropria de sua sociedade, história e cultura. (VIGOTSKI, 2009). Aqui percebemos que a análise tem como foco a interação do indivíduo com o meio em que se encontra.

O desenvolvimento cognitivo da criança passa de uma etapa livre e desprendida, gradualmente substituída por momentos conceituados, em que essa fala encontra correspondência com determinados esquemas lógicos e de razão exteriores a ela (VYGOTSKY, 2004). Com a passagem para a adolescência, os objetos podem ser cada vez mais generalizados sem necessitar de impressões imediatas, tendo o aprendiz a capacidade de isolar determinado atributo e um objeto, relacioná-lo a uma categoria abstrata e realizar inferências (LURIA, 2010). Esse pensamento que categoriza, não envolve apenas a percepção gráfica, visual e em presença de objetos, mas é lógico-verbal e matemática, que permite ao indivíduo

criar categorias para os objetos e estabelecer sínteses de suas interrelações, sem que eles sejam físicos (LURIA, 2010).

Aqui, o processo de aprendizagem passa por uma combinação dos *conceitos espontâneos*, que o indivíduo carrega consigo, e os *conceitos científicos*. Os conceitos cotidianos ou espontâneos são derivados diretamente da experiência, das práticas do seu meio social que os indivíduos desenvolvem determinadas ideias desorganizadas a respeito dos objetos. Essa agregação desorganizada não faz com que sejam irrelevantes para a aprendizagem de conceitos científicos, Vigotski (2009) aborda que há uma interação entre ambos, que se aproximam, interagem e passam por etapas de fixação e explicação. Esse momento é o de tomada de consciência dos conceitos em níveis de maior de generalização, com ampla relação com outros conceitos. O percurso é inverso, não é a empiria ou as suas sensações imediatas que vão construir as categorias, mas a capacidade de relacionar sistemas de conceitos em níveis de generalidade. Afirma-se então que na elaboração conceitual, a palavra é mediadora de uma compreensão ativa dos conceitos, que transitam de uma generalização para diversas generalizações (FONTANA, 1995).

Dessa forma, os conceitos científicos possuem quatro atributos que faltam aos espontâneos: possibilidade de generalização, organização sistematizada, consciência de seu uso e controle voluntário. (WELLS, 1994). A generalidade e a organização é o que define um conceito como “científico”, que se distinguem dos conceitos manejados pelos indivíduos durante as suas experiências rotineiras. (VIGOTSKI, 2009). Os conceitos espontâneos são concebidos como um modo “ad hoc”, com compreensões particulares de cada fenômeno, encapsuladas, enquanto os conceitos científicos primam por serem abstratos e gerais, buscando coerência e relações em uma rede conceitual. (WELLS, 1994)

O processo de aprendizagem é descrito então como uma forma organizada de apropriação e interação com os signos, que atribui as configurações da sua cognição e atividade (MATENCIO, 2007). Para Vigotski (2009) a aprendizagem de conceitos científicos pressupõe ensino, em que as experiências imediatas dos aprendizes e as expressões que lhe dão suporte sejam mediadas para que o repertório de signos científicos seja disponibilizado e apropriado. Ao assumirmos que a cognição humana é mediada pela linguagem, as concepções de Vigotski têm como consequência a proposta de situações em que esses signos sejam expressos. Essa interação é levada ao núcleo do processo de aquisição de conceitos. Caso não haja relação social e intercâmbio de significados, não há processo de aprendizagem, o que nos leva à conclusão que os envolvidos *precisam* ter a oportunidade de falar e *devem* se expressar (MOREIRA, 2011).

A proposta de buscar as raízes do desenvolvimento na relação entre a prática e a cognição rompeu com linhas psicológicas que se preocupavam apenas com processos internos. Essa relação de processos internos e externos em Leontiev (1972) é definida com o conceito de *atividade*, qualquer processo mental interno apropria-se da forma de objetos externos, e nessa relação de internalização, os objetos externos podem ser generalizados, contraídos, as operações mentais ocorrem e expressões palpáveis (manuais, verbais, escritas, operações lógicas) se manifestam. Em síntese mais ampla, podemos definir como *atividade* todo e qualquer comportamento, organização funcional, em que o ser humano tem acesso ao ambiente e pode construir elementos de representação interna desse mesmo ambiente (BRONCKART, 2004). O conceito de atividade está intimamente relacionado ao *motivo*, que ocorre de forma distinta durante o desenvolvimento do indivíduo (LEONTIEV, 1972). Para as crianças, sua atividade é direcionada

imediatamente ao círculo dos adultos para satisfazer as suas necessidades. Ao adentrar na idade escolar, essa atividade é orientada para outros motivos, quando possui tarefas em que ela própria precisa executar e começa a alterar o lugar que ocupa em relação aos adultos (LEONTIEV, 1972).

Podemos sintetizar que o desenvolvimento histórico, científico e cultural da humanidade ultrapassa as necessidades imediatas de indivíduos ou grupos localizados. Esses conteúdos produzidos pela humanidade são internalizados a partir dos conjuntos de signos organizados e disponíveis, onde o pensamento abstrato produz generalizações amplas, que vão além da vivência imediata. Quanto mais reduzida for a experiência do indivíduo em apropriar-se desse conjunto de signos e executar operações mentais, menor o repertório e generalização a respeito das disciplinas (BOGOYAVLENSKY; MENCHINSLAYA, 2007). Esses autores soviéticos, que compartilhavam dos pressupostos teóricos e Vigotski, manifestavam preocupações quanto aos materiais disponíveis em cada campo do conhecimento, em como as imagens são reconstruídas pelos indivíduos a partir das experiências adquiridas na escola, as preocupações vão desde a oferta de mapas geográficos, fotografias e imagens históricas com descrições claras e coloridas e oferta de material visual e objetos para a manipulação no ensino de ciências (BOGOYAVLENSKY; MENCHINSLAYA, 2007).

Ao refletir sobre critérios em que os conteúdos são compartilhados durante um processo de aprendizagem, as ideias de Bakhtin e Volóchinov a respeito da intertextualidade são relevantes para compreendermos como os enunciados são recebidos e socializados, em atos responsivos, com a formação de paráfrases genuínas e mais singulares. Dado importante deriva dos pressupostos investigativos do “Círculo de Bakhtin”, que engloba Volóchinov (ainda há polêmica sobre a autoria

de “Marxismo e Filosofia da Linguagem”, a tradução que utilizamos da Editora 34, a primeira direta do russo, atribui a autoria à Volóchinov) é que seus estudos estão na ordem da reflexão filosófica, não havia a intenção de criar um modelo analítico. Assim, necessitamos de esforços para transpor as concepções de Bakhtin-Volóchinov para um modelo científico (FARACO, 2007).

Revela-se uma estreita relação com o ideário de Vigotski, quando Volóchinov (2017) descreve a vivência psíquica como uma expressão sígnica do contato do organismo com o meio exterior. Dessa forma, qualquer “psiquismo interior” só pode ser compreendido e analisado como um conjunto de signos. Volóchinov (2017) discorre que um signo tem existência material, é um objeto concreto, enquanto o processo de significação não é um objeto, mas não pode ser apartado dos signos, assim como nós podemos comer uma maçã, e não a significação da palavra maçã, toda e qualquer vivência pode ser compreendida e interpretada a partir de signos autênticos e reais (VOLÓCHINOV, 2017).

O processo de comunicação é dado quando o sujeito falante toma esses signos para si, dentro de uma “reserva social” de signos disponíveis para ele. Assim, embora a comunicação seja concreta e individual, qualquer enunciado é tomado integralmente pelas relações sociais que o indivíduo possui (VOLÓCHINOV, 2017). Esse ponto nos interessa em especial para efetivar transposições para a aprendizagem: indica que precisamos compartilhar signos científicos com os aprendizes, para que em sua comunicação efetiva possam captar signos desse repertório e se expressar. Volóchinov (2017) afirma que *“a situação social mais próxima e o meio social mais amplo determinam completamente e, por assim dizer, de dentro, a estrutura do enunciado”*. Com essas situações mais próximas, os participantes determinam as situações do enunciado e as camadas mais profundas

de sua estrutura serão determinadas por ligações mais essenciais do meio em que o falante participa (VOLÓCHINOV, 2017). Portanto, inserir o aprendiz em um contexto de proximidade dos conceitos científicos é essencial para estabelecer ligações mais genuínas com os enunciados que produzem.

No processo de interação entre os enunciados, que pode ocorrer “face a face” ou por meio de textos e livros, assume-se que um discurso vivo precisa variar na forma de oposição ao seu objeto, sendo que o discurso do falante vai se situar em um meio dinâmico, em um complexo de relações mútuas com outros enunciados para fazer frente ao diálogo com que se depara (BAKHTIN, 2015). Esse é um processo ininterrupto de formação, efetivada pela interação socio discursiva dos falantes (VOLÓCHINOV, 2017). Assume-se então que todo discurso se orienta a enunciados alheios, e que, entrará em inevitáveis assonâncias e dissonâncias com outros discursos.

Quando Volóchinov (2017) adentra o tema da compreensão de uma significação, de um sentido que é verdadeiramente compartilhado e apreendido por outro, reporta que qualquer “compreensão ativa” demanda um embrião de resposta. Só podemos afirmar a compreensão de um enunciado alheio, caso o sujeito encontre para ele um local em uma afirmação correspondente. Ainda, a cada enunciado que é compreendido, sempre é acrescentando palavras responsivas e que quanto mais constitutivas e de maior diversidade, maior será a compreensão do enunciado original (VOLÓCHINOV, 2017). Ao adaptar para um contexto de aprendizagem científica, quanto maior a quantidade de palavras do repertório do indivíduo e mais apropriadas forem em relação ao conceito científico, mais profunda será a compreensão. Em um discurso vivo, cada elemento semântico que pode ser isolado de um enunciado, assim como a sua totalidade, conterà algo ativo e

responsivo, uma réplica que se opõe ao enunciado. Qualquer compreensão genuína de algo demanda que as respostas sejam partilhadas de onde foram enunciadas. Por isso, toda a compreensão é *dialógica*, ela não está na palavra, nem na mente do ouvinte ou do falante, mas no efeito da interação entre o falante e o ouvinte no material de dado conjunto de signos (VOLÓCHINOV, 2017).

Nas primeiras décadas do século XX, época dos escritos de Bakhtin-Volóchinov, a linguagem verbal e escrita era predominante, em que o diálogo se restringe ao contato sonoro ou por meio de livros com outros falantes. Ao transpor para a aprendizagem científica e realizar sínteses com a multimodalidade, podemos atribuir enquanto critérios de apropriação e compreensão de conteúdos a capacidade de adicionar “camadas responsivas” em variadas formas de representação, e não apenas na forma de alterações verbais e escritas dos enunciados, caracterizados como paráfrases. Nesse ponto, a produção de representações próprias em diversas formas se alia às paráfrases que o indivíduo produz para expressar compreensão (AINSWORTH; PRAIN; TYTLER, 2011). A passagem da comunicação de um contexto monomodal para um multimodal (KRESS, 2010; KRESS; LEEUWEN, 2006) envolve utilizar diferentes sistemas semióticos para que a apropriação dos conceitos seja efetivada, já que esses conceitos estão necessariamente expressos em variadas formas de representação (JEWITT, 2008; O’KEEFE et al., 2014; PRAIN; TYTLER, 2013; WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006).

Para lidar com a variedade de sistemas de representação semióticos, são fundamentais as concepções de Duval (1995), em como se relacionam a sua variedade e apropriação pelo indivíduo. Cabe salientar que Duval (1995) segue a tradição de Vigotski ao considerar que as representações mentais estão interligadas

com a interiorização da linguagem verbal, que compõe um tipo de representação semiótica. Essas representações semióticas são sempre *conscientes e externas*, listadas por Duval (1995) como os gráficos, figuras, expressões simbólicas e linguísticas. Esses diferentes registros não são variáveis apenas por seus significantes, mas cada um deles tem um determinado sistema de regras que autoriza sua associação e os modos em que essas associações se efetuam. Aqui Duval (1995) usa “associações” e “modos de associações” para retomar as categorias de paradigma e sintagma de Saussure.

São considerados enquanto registros de representação semióticos caso três operações sejam efetivadas em suas expressões visíveis: formação, tratamento e conversão das representações. A formação de uma representação semiótica respeita regras próprias, que são definidas convencionalmente, isso, é possível que a representação seja percebida, identificada e, assim, o aprendiz pode internalizar os signos dispostos. Além disso, ao exprimir o conjunto de representações de dado sistema, o indivíduo precisa escolher um conjunto de signos e expressá-los, para que haja reconhecimento das representações como representação em certo registro (DUVAL, 1995). Há liberdade na escolha dos grupos de signos que serão expressos, mas também limites em cada sistema semiótico, pois embora as associações sejam potencialmente infinitas, as combinações sintagmáticas limitam as expressões de qualquer sistema semiótico.

A atividade de tratamento é a propriedade de transformar internamente a representação de um registro semiótico, sem que haja alteração para outro tipo de registro. Essas alterações podem provocar expansão ou contração na quantidade de informações, pois o conjunto de dados iniciais após o processo de tratamento pode não ser encontrado nos dados finais. São exemplos de tratamento a realização de

cálculos aritméticos, algébricos e proposicionais, a paráfrase que reformula um conteúdo e o substitui na própria língua natural (DUVAL, 1999), a alteração de figuras e de figuras geométricas também são incluídas nesse rol (DUVAL, 2012). Cada registro semiótico tem suas próprias regras de tratamento, com regras de derivação, associações e contiguidade muito distintas (DUVAL, 2012).

Última propriedade destaca de um registro de representação, a conversão consiste na transformação da representação de um objeto, uma situação ou de uma informação dada em outra representação distinta, desse mesmo objeto ou informação, em que se conserva ao menos parcialmente o significado da representação primeira (DUVAL, 1995). A mudança deve ocorrer de um sistema semiótico para outro, que necessariamente, envolve dois registros semióticos distintos. Duval nomeia como *ilustração* a conversão de uma representação linguística em *figura*, e como *descrição* o processo de conversão de um gráfico, figura ou esquema para a representação escrita.

Os estudos empíricos de Duval são baseados na aprendizagem de matemática e linguagem escrita, há um foco em investigar quais conversões são mais fáceis ou complexas para o aprendiz, porque as representações podem ser mais ou menos congruentes, com diferença na semelhança da organização dos dados na representação inicial e na final. Embora os exemplos sejam da matemática, é relevante uma reflexão ao lidar com os registros: não podemos apenas efetuar operações de tratamento e acostumar o estudante a utilizar apenas essa operação dentro daquele registro. (DUVAL, 1995). Dessa forma, para que ocorra atividade conceitual é imprescindível que haja coordenação entre os registros de representação, para que o sujeito faça a apreensão conceitual (noésis) em

paralelo à expressão externalizada do registro (semiósio) em representações heterógenas (DUVAL, 1995).

Aqui, há relevantes intersecções entre as diferentes abordagens, em uma proposta de aprendizagem baseada em multimodos de representação, intentamos provocar variações genuínas em diversos registros de representação semióticos, na perspectiva que o aprendiz tenha condições de adicionar elementos novos no processo de externalização desses signos. Desejamos a dialogicidade bakhtiniana no processo de ensino-aprendizagem, mas que as camadas responsivas não sejam adicionadas apenas por meio da fala ou da escrita.

No próximo capítulo abordaremos os problemas específicos dos modos de representação dos conteúdos de Biologia Celular.

MULTIMODOS DE BIOLOGIA CELULAR COM ANALOGIAS E RECURSOS AUDIOVISUAIS

3.1 As representações dos conceitos de Biologia Celular

Devido à necessidade de lentes para a sua observação, a Biologia Celular tem como marco de seu desenvolvimento o momento em que Robert Hooke, em 1665, observou um corte de cortiça em seu recém-construído microscópio. Por considerar que as câmaras vazias e repetidas lembravam as celas de monges, Hooke as denominou “cells” (GLYNN; TAKAHASHI, 1998). Dessa forma, a denominação “cell” nasce com a constituição de uma analogia, embora uma associação direta com celas de monges não faça muito sentido nos dias atuais.

Como Hooke observou uma célula vegetal, sua primeira descrição foi da estrutura chamada de “parede celular”, visível em microscopia de luz e ausente em células animais. Quando observados materiais provenientes de animais, eram denominados “fibras” ou “glóbulos” (MAYR, 1982), o que opunha zoólogos e botânicos nas descrições dessas estruturas microscópicas. Até o século XIX, “célula” não era mais do que um nome, sem que lhe fossem atribuídas propriedades ou funções (MAYR, 1982). É necessário considerar um processo amplo e composto de muitos indivíduos, até que, em 1838, Matthias Schleiden e Theodor Schwann publicassem trabalhos sistemáticos de que células compunham todos os tecidos de organismos vivos (ALBERTS et al., 2011). Em 1855, Robert Remak e Rudolf

Virchow ainda demonstraram em células germinativas de anfíbios que células só se originavam de células pré-existentes, definindo a máxima de que células só podem ser originadas de outras células, refutando teorias a respeito de sua formação espontânea (MAYR, 2004).

Para além de seu papel estrutural, como “blocos de construção” dos seres vivos, as concepções modernas a respeito do papel nutricional e fisiológico das células só iriam se consolidar a partir da década de 1950, quando foi definida a existência de processos bioquímicos pertencentes a todos os organismos vivos, desde as bactérias, passando por plantas e animais (MAYR, 1982). A possibilidade de generalizar processos celulares como a síntese proteica, a replicação do DNA e o intercâmbio de matéria e energia implicou em conceber uma herança compartilhada entre todos os organismos vivos, (MAYR, 2004), algo que havia sido sugerido por Charles Darwin em 1859:

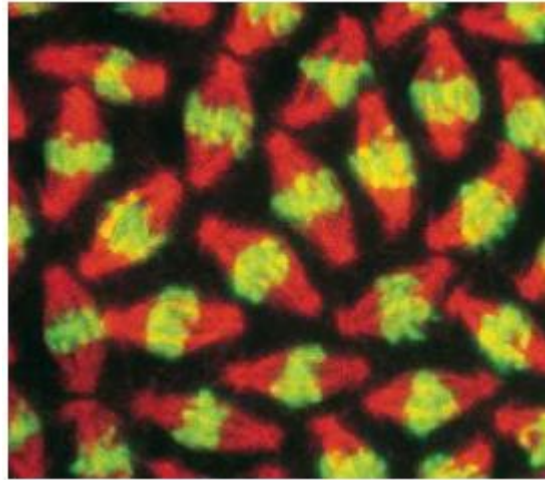
“Não tenho como duvidar de que a teoria da descendência com modificação se estende a todos os membros da mesma grande classe ou reino. Acredito que os animais descendem de no máximo quatro ou cinco progenitores; e, as plantas, de um número igual ou menor. A analogia me levaria a um passo adiante, ou seja, a crer que todos os animais e plantas descendem de um protótipo único. Não obstante todas as coisas vivas têm muito em comum em sua composição química, em sua estrutura celular” (DARWIN, 2014, p. 549).

Os estudos sobre citologia, herança cromossômica, bioquímica e morfologia consolidaram a origem comum dos organismos vivos que compartilham a descendência com todas as formas de vida do nosso planeta (MAYR, 2004). O conceito de “célula” se desdobrou da designação das paredes celulares da cortiça até ser vista como a unidade fundamental da vida, a menor porção de um organismo vivo. Hoje, podemos sinteticamente definir que células são as unidades mais simples

capazes de realizar *autopoiese*, compreendida como a capacidade dos seres vivos “de fazer a si mesmo”, que consiste em intercambiar energia e matéria com o meio de forma a manter a organização interna, regenerar-se e reproduzir-se (MARGULIS; SAGAN, 1995).

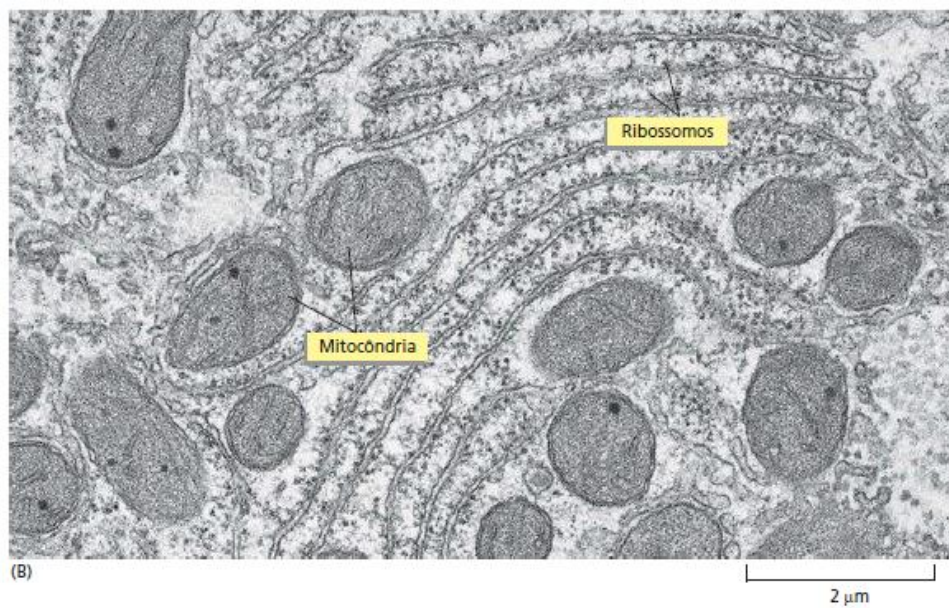
O desenvolvimento da Biologia Celular trouxe uma série de modos de representação imprescindíveis ao seu desenvolvimento teórico, como definido por Duval (1995). A apreensão conceitual (noésis) necessariamente acompanha a produção de registros semióticos equivalentes (semiósis) e, assim, a construção de instrumentos mais precisos de microscopia de luz (Figura 4) – que, com resolução de até 200 nanômetros, observam organelas celulares – e eletrônica (Figura 5) – que, com resolução até 0,2 nanômetros, observam moléculas – colabora com detalhes estruturais e funcionais das células (ALBERTS et al., 2011). Para definir a estrutura de biomoléculas, como proteínas, carboidratos, lipídios e ácidos nucleicos, são utilizadas técnicas de cristalografia por raios X e de ressonância magnética nuclear, com a reconstrução digital da forma tridimensional dessas moléculas (ALBERTS et al., 2011). Dessa forma, surgem enormes desafios de transposição didática para o Ensino Médio do conjunto dessas representações, sendo ainda mais complexas se estabelecermos situações em que os estudantes produzam registros de representações próprios.

Figura 4 – Divisão celular em técnica de microscopia de luz com fluorescência



Fonte: (ALBERTS et al., 2011)

Figura 5 – Microscopia Eletrônica de Transmissão



Fonte: (ALBERTS et al., 2011)

Tendo em vista esse desafio, investigamos trabalhos que compartilham dos pressupostos da multimodalidade e envolvem a produção de representações baseadas em imagens microscópicas ou modelos moleculares. Foram encontrados trabalhos que produziram imagens em duas dimensões, com os conteúdos de evaporação (TYTLER; PETERSON; PRAIN, 2005; TYTLER; PRAIN; PETERSON,

2007), refração, estudo dos cromossomos (HAND; MCDERMOTT; PRAIN, 2016) e estados da matéria, força e atrito (HUBBER; TYTLER, 2013). Como já argumentado, esses estudos têm em comum a construção de imagens” especulativas” próprias, onde o diálogo com imagens canônicas seja estabelecido em termos dos limites e possibilidades de explicação de cada uma das representações apresentadas. Os exemplos aqui citados não são vinculados à Biologia Celular, mas dialogam com as representações moleculares que são essenciais para a compreensão de conceitos.

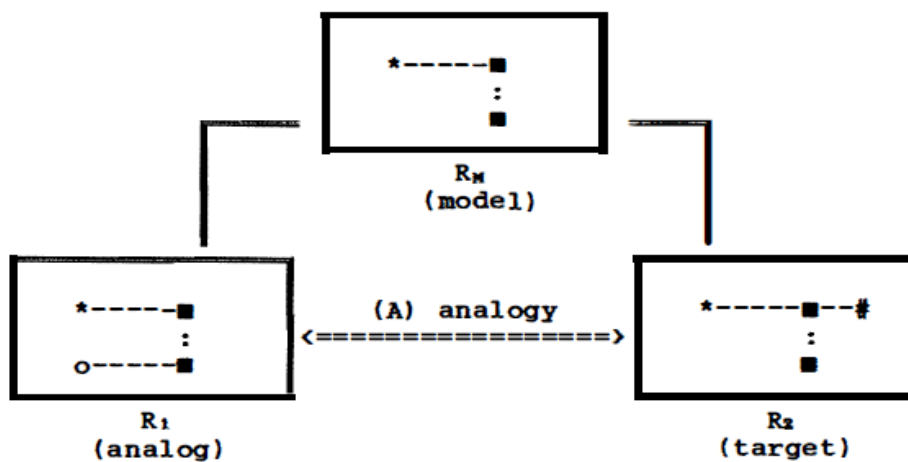
Ao investigar os trabalhos vinculados diretamente à multimodalidade, consideramos duas questões: os conteúdos que elencamos de Biologia Celular (osmose e atividade enzimática) são explicados em movimento, o que implicava em produzir sucessivos tratamentos das representações, e, promover maior liberdade para a produção das representações próprias. Dessa forma, inserimos na nossa investigação os recursos audiovisuais (RAV's) e o uso de analogias.

3.2 As analogias e os Recursos audiovisuais para a aprendizagem

As analogias têm um amplo campo de estudo multidisciplinar, que perpassam campos de estudo da linguística, psicologia, aprendizagem, neurociências e o estudo evolutivo do raciocínio em humanos e outros animais (ANDERSON, 2015). Dentro desse vasto campo, delimitamos a proposta de Duit (1991) quanto ao uso de analogias em situações de aprendizagem. São também variadas as definições de metáforas e analogias, com autores as considerando sinônimas e outros as diferenciando. Para Duit (1991), a diferença entre as duas é que as metáforas são implícitas, enquanto as analogias precisam comparar explicitamente o que há em comum de um “análogo” com o “conceito-alvo”.

Duit (1991) define que há um modelo fonte, que pode ser um conceito, categoria, substantivo, etc. e que dele desdobram-se o análogo e o conceito-alvo, como expresso na Figura 6 abaixo:

Figura 6 – O processo da analogia



Fonte: (DUIT, 1991)

Assim, a analogia é o processo de comparar certos aspectos do “análogo” (R1) com certas características do conceito-alvo (R2), a partir de um modelo inicial (R). As analogias também se diferenciam do exemplo, é rotineiro ilustrar a consequência de um conceito em dada situação, sua aplicação em determinado contexto, e esses apontamentos são definidos como exemplos (WILBERS; DUIT, 2006). Para ser uma analogia é necessário comparar, de modo claro, dois domínios distintos. Em resumo, podemos dizer que a mitocôndria é uma usina de força (como uma metáfora, as relações de similaridade estão implícitas), afirmar que as células funcionam *como* uma fábrica, pois produz, embala e exporta substâncias (uma analogia, certos aspectos da célula, no caso, a síntese de proteínas e seu envelopamento no complexo de Golgi), ou ainda ilustrar que existem muitas

mitocôndrias na peça intermediária dos espermatozoides (um exemplo). Os apontamentos de Paris e Glynn (2004) e Wilbers e Duit (2006) abordam que não se pode confundir o modelo, o conceito-alvo, o análogo e os exemplos do conceito, o manejo inadequado desses conceitos pode atrapalhar o processo de aprendizagem, e dessa forma, o uso de analogias deve sempre ser sistematizado.

A proposta de Duit (1991) é chamada de “TWA”, *teaching with analogies*, e é sintetizada em seis operações sequenciais: a apresentação de um conceito-alvo, a introdução de um conceito análogo, a identificação de similaridades entre o conceito-alvo e o análogo, o mapeamento mais detalhado das semelhanças, a definição de conclusões e a indicação de onde *a analogia não funciona*. Ao destacar o último ponto da proposta, consideramos que o modelo de TWA pode estabelecer diálogos profícuos com a teoria da multimodalidade, em especial porque ambas compartilham do mesmo pressuposto da parcialidade das representações, ou seja, em toda forma de representação há pontos em que se destacam determinados conceitos, e outros ficam necessariamente obnubilados. Dessa forma, não há “a melhor representação ou analogia”, mas a mais adequada para evidenciar determinado aspecto desejado.

Em pesquisas empíricas a respeito do uso de analogias, há uma série de indicações de como elas devem ser mais bem aproveitadas. Na aprendizagem de conteúdos de Biologia Celular, Ferraz e Terrazan (2003) identificaram problemas dos docentes em construir analogias espontâneas: os docentes produziam analogias de difícil compreensão e empobrecidas, com baixa correlação entre o análogo e o domínio-alvo, na avaliação de alguns trabalhos (LIN; SHIAU; LAWRENZ, 1996; MARCELOS; NAGEM, 2012; TREAGUST, 1993). Conclui-se que o uso consciente de analogias não é algo disseminado, fazendo com que os docentes executem essas operações de forma mais implícita e não sistematizada. Ferraz e Terrazan

(2003) também apontam que é possível criar espaços e estratégias para que os estudantes apontem analogias próprias, que representem seu entendimento do assunto.

Há investigações específicas na construção de analogias visuais. Issing (1990) define que as “*pictorial analogies*” podem se assemelhar a simples representações visuais e até mostrar objetos muito realísticos, mas para serem analogias, eles irão se referir a algo mais do que é denotado na ilustração. Essas imagens podem se relacionar a conhecimentos prévios dos aprendizes, por inferir a áreas bem conhecidas. Issing (1990) ainda indica que é comum o uso de humor ou elementos que as deixem bem atrativas visualmente. Em estudo específico sobre metáforas em Biologia Celular, Trevisan e Carneiro (2009) indicam o uso de “metáforas visuais” associadas aos conceitos, e concluem que o uso de metáforas puramente linguísticas aumenta a chance de erros conceituais.

Outras reflexões a respeito do uso de analogias envolvem a possibilidade de inovação, fazendo com que os modelos fiquem mais dinâmicos com a geração de novas conjecturas e abduções (CLEMENT; OVIEDO, 2003), e a necessidade de demarcar explicitamente o que são as analogias, para que os estudantes não as tomem literalmente ou as confundam com o fenômeno (LANCOR, 2014). As analogias produzidas por estudantes também servem para demonstrar seus conhecimentos de certo tópico, a externalização das suas representações em analogias pode colaborar para informar suas compreensões, de uma forma que não seria possível a partir de outras representações (NIEBERT; GROPENGIESSER, 2015; NIEBERT; MARSCH; TREAGUST, 2012). As analogias também são muito plásticas, com potencial para expressar fenômenos simultaneamente microscópicos e macroscópicos, como o ciclo do carbono (NIEBERT; GROPENGIESSER, 2015).

Como plataforma para desenvolver essas atividades de produção de analogias, escolhemos a filmagem, narração e explanação dos experimentos de forma que uma linha narrativa e roteirizada fosse construída, com o apoio de sons, imagens, animações, para que a liberdade de produzir analogias fosse mais compatível com uma maior plasticidade dos modos de representação. Assim, os Recursos Audiovisuais (RAV's) são usualmente utilizados na forma de vídeos em que são demonstrados processos com sucessivas transformações.

Embora sejam amplamente utilizados como um recurso desejável, Lowe (2003) aponta que o uso não criterioso das animações pode gerar excesso de informação e condições não propícias de aprendizagem, e dessa forma, é necessário compreender o que as animações têm como singularidade, que as diferem das imagens estáticas (LOWE, 1999). Esse autor aponta que além da preocupação típica em coordenar as explicações verbais com as sequências de imagens, as animações incorporam três características: as transformações (mudanças de forma), as translações (mudanças de posição) e as transições (inclusões ou exclusões de algo) (LOWE, 2003). Todas essas características precisam ser apropriadas pelos produtores das animações para que a aprendizagem seja mais efetiva.

No que tange à multimodalidade, as colaborações de Lowe são relevantes para que discussões explícitas a respeito do modo de representação sejam executadas no processo de aprendizagem. Cada uma das alterações que ocorrem nas animações necessita ser dialogada, para que se produzam situações mais permeáveis à apropriação de conceitos.

São comuns os trabalhos de Biologia Celular que analisam Recursos Audiovisuais produzidos pelos próprios docentes ou investigadores (AZIZ et al.,

2017; MARCHESE, 2011; MENDES, 2006; STITH, 2004), em que as representações canônicas são adaptadas ou simplificadas e os passos intermediários das reações químicas ou processos celulares são destacadas em detalhes. Essas investigações têm em comum a conclusão de que mostrar sequencialmente a modificação das estruturas colabora com o entendimento conceitual dos estudantes, com certo risco de que sejam demasiado simplificadas (STITH, 2004), fazendo com que os docentes sejam essenciais em aprofundar pontos específicos.

Nossa pesquisa utilizou as contribuições da multimodalidade na produção de representações próprias e canônicas, em situações que envolvam a produção e interpretação intensiva de imagens (estáticas e em movimento) e analogias (visuais e verbais). Os conteúdos de Biologia Celular de osmose e atividade enzimática foram escolhidos para o desenvolvimento dessa pesquisa por possuir representações canônicas bem estabelecidas e muito presentes em materiais didáticos, além de exigirem representações moleculares e possuir experimentos fáceis de filmar, com destacadas mudanças macroscópicas. Seguimos para a apresentação da metodologia e do ambiente de pesquisa.

METODOLOGIA E AMBIENTE DA PESQUISA

4.1 O Ambiente da Pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida no Instituto Federal do Paraná – Campus Foz do Iguaçu, com o segundo ano do curso do Ensino Médio Integrado ao Técnico de Meio Ambiente. O curso tem duração de quatro anos, sendo que o primeiro componente curricular de Biologia se inicia no segundo ano letivo. A sala possui 38 alunos, com idades variando entre 16 e 17 anos, sendo 33 meninas e cinco meninos. O ingresso nos Institutos Federais tem um acentuado perfil democratizante para a educação pública brasileira: embora haja processo seletivo para o ingresso, a rede federal possui 80% de cotas raciais, sociais, indígenas e para deficientes. Além das políticas de acesso, o IFPR proporciona bolsas para estudantes de baixa renda para alimentação e transporte, bolsas para a Pesquisa e Inclusão social e de iniciação científica.

Todas as informações a seguir foram retiradas do Projeto Pedagógico do Curso de Meio Ambiente (IFPR - FOZ DO IGUAÇU, 2016). A estrutura do Instituto Federal de Foz do Iguaçu conta com biblioteca atualizada, rede wifi rápida e computadores de acesso livre aos estudantes. A instituição conta com laboratório de Microscopia e Biologia, equipado com lupas e laminário permanente, além de laboratórios de Química, Física e de Qualidade de Água. Todas as salas possuem computador e projetor multimídia para o uso dos docentes.

O IFPR – Foz do Iguaçu também conta com assistente social, psicólogo, pedagogos, técnicos administrativos em educação, coordenação e direção de ensino e ainda coordenação de curso para atender e orientar os estudantes e responsáveis. A carga horária dos docentes não pode exceder 16 horas-relógio semanais em sala de aula. Quatro horas são destinadas para o atendimento e orientação de estudantes, outras quatro horas são voltadas para a preparação de aulas e mais 16 horas são alocadas para a Pesquisa, Extensão e Inovação.

O curso Técnico Integrado de Meio Ambiente é dividido em dois núcleos: Base Nacional Comum e Núcleo Técnico. A Base Nacional Comum contém as disciplinas de Artes, Educação Física, História, Sociologia e Filosofia, Biologia, Química, Física, Português e Língua Estrangeira (Espanhol e Inglês). O Núcleo Técnico agrega as disciplinas profissionalizantes, com os componentes curriculares de: Ecologia, Impactos Ambientais, Legislação Ambiental, Agroecologia, Química Ambiental, Topografia, Estudo de Solos, Segurança do Trabalho, Hidrologia, Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Fontes de Energia e Educação Ambiental. O curso se estende por quatro anos com uma carga horária total de 3300 horas-relógio (IFPR - FOZ DO IGUAÇU, 2016)

A concepção educacional do IFPR tem o trabalho enquanto princípio educativo. Dessa forma, o perfil do profissional consiste na aptidão para colher, analisar, resolver e documentar dados, em uma formação ética que favoreça a autonomia intelectual e o pensamento crítico. As propostas de avaliação do IFPR são orientadas para que os critérios qualitativos prevaleçam aos quantitativos, em um processo de avaliação contínuo e cumulativo. A resolução 50/2017 do IFPR indica uma série de critérios de aprendizagem, como a identificação de problemas, elaboração de hipóteses, habilidades de aplicação de conhecimentos técnicos,

comunicação oral e escrita, participação, pontualidade e solidariedade, como critérios importantes para a avaliação da aprendizagem. Dessa forma, as propostas avaliativas da instituição geram um ambiente propício para a diversificação das avaliações, o que auxilia o engajamento dos estudantes em propostas novas, pois já estão acostumados a uma variedade de instrumentos avaliativos (IFPR, 2017).

4.2 Metodologia da Pesquisa

A presente pesquisa é qualitativa com viés interpretativo e exploratório, que se singulariza por introduzir e modificar conceitos, com vistas a um aprimoramento de ideias (GIL, 1999). Esse tipo de pesquisa é caracterizado por ser mais flexível, para que haja considerações de muitos aspectos do tema em questão (GIL, 2009), e a sua análise utiliza muitos exemplos para estimular a compreensão (GIL, 2009). Nesse sentido, a pesquisa exploratória permite novas visões a respeito de temas já abordados, essa característica coaduna com nossa perspectiva de sintetizar propostas de ensino já existentes (analogias, recursos audiovisuais), com os pressupostos da multimodalidade e com quadro analítico derivado da semiótica.

Temos como referencial a análise semiótica do conjunto de registros de representação expressos pelos estudantes e pelo docente, na análise dos pares de significante e significado dos signos, assim como as relações paradigmáticas (associativas) e sintagmáticas (extensivas), baseados na semiótica Saussure e de Barthes e inspirados pela análise semiótica de imagens proposta por Penn (2002)

A metodologia é orientada para estimular o uso de multimodos de representação de conceitos de Biologia Celular, com especial atenção para as regras de produção e expressão dos signos científicos, com a interpretação dos

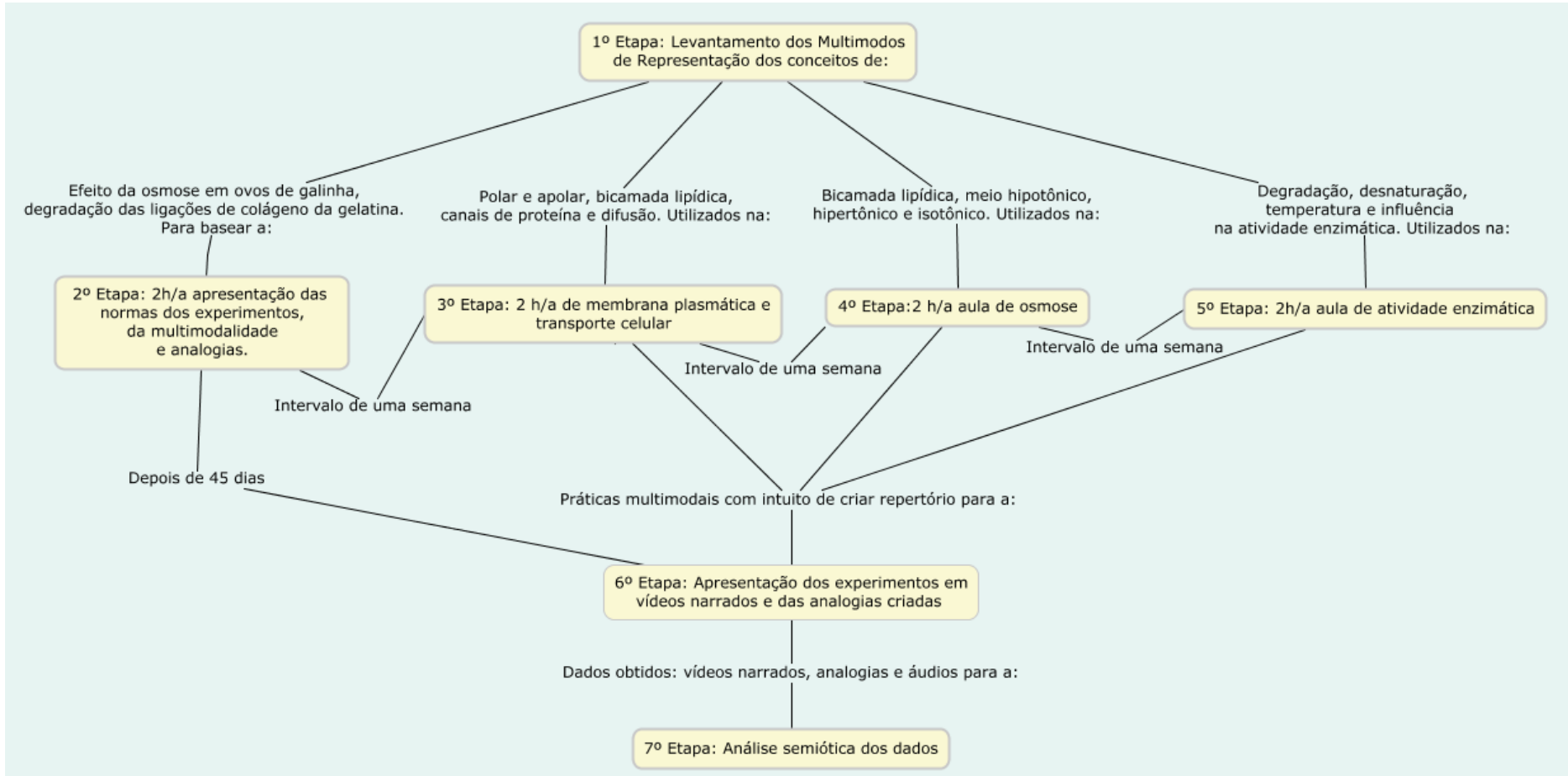
significados das representações próprias e canônicas e com o refinamento dessas representações produzidas. Introduce-se ainda um papel no uso de analogias, como forma de aumentar a diversificação das representações próprias e como um reforço da explicação dos conceitos. A pesquisa foi aprovada em comitê de ética, com o protocolo 74510217.8.0000.5231 da Plataforma Brasil.

O percurso da pesquisa contemplou as seguintes etapas:

- 1º - Levantamento dos multimodos de representação pertencentes aos conteúdos científicos elencados;
- 2º - Apresentação das normas dos experimentos de Osmose e Atividade Enzimática;
- 3º - Formação, interpretação e refinamento dos registros de Estrutura da Membrana Plasmática e Transporte Celular;
- 4º - Formação, interpretação e refinamento dos registros de representação de Osmose;
- 5º - Formação, interpretação e refinamento dos registros de representação de Atividade Enzimática;
- 6º - Apresentação do vídeo de um experimento científico, com interpretação e debate dos registros de representação produzidos;
- 7º - Análise semiótica.

Na página a seguir, na Figura 7 estão sumarizadas as principais atividades que ocorreram em cada etapa e seu tempo de duração.

Figura 7 – Mapa do desenvolvimento da proposta

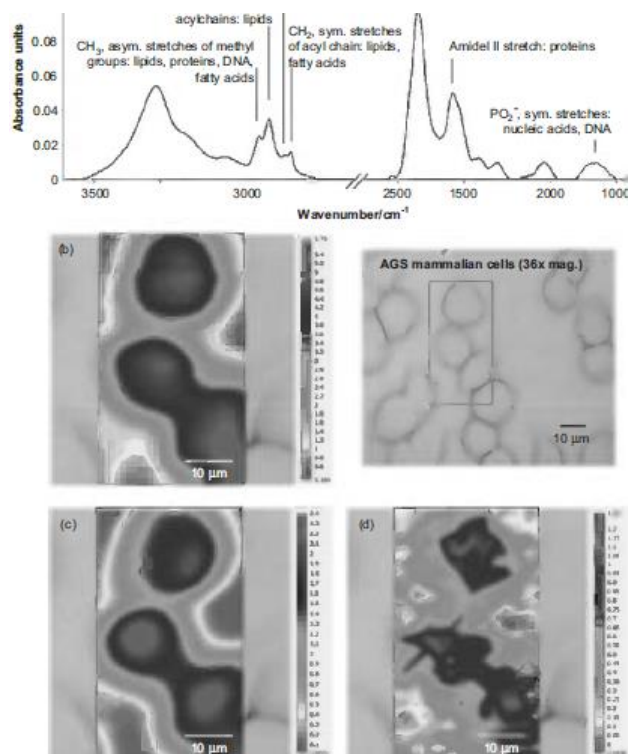


Fonte: O próprio autor

1º Etapa - Levantamento dos multimodos de representação

Como já abordado no Capítulo 2, a escolha de conteúdos de Biologia Celular para a pesquisa deriva da intensa pesquisa em suas formas de representação, com variadas propostas que integram experimentos, aulas práticas, modelos tridimensionais, animações e desenhos esquemáticos. Essa diversidade de representações é constituinte de livros didáticos, como em Martho e Amabis (2015) e em Linhas, Gewandsznajder e Pacca (2016), em que há variadas formas de representação, em desenhos, fotos, esquemas e gráficos. Na ciência aplicada, Prain e Tytler (2013) descrevem uma “obsessão” dos cientistas da área de Biologia Celular em produzir imagens, como as técnicas de Espectroscopia de Infravermelho, em que tecidos cancerígenos podem ser localizados, com a combinação sofisticada de imagens, simulações e análise de dados, apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Imagem de Células em Técnica de Espectroscopia de Infravermelho



Fonte: Prain e Tytler (2013)

Quando realizamos o levantamento de conceitos para o estudo, privilegamos conteúdos em que houvesse a necessidade de serem representados em “movimento”, ou seja, conceitos que demandassem uma apropriação sequencial de imagens para a sua adequada compreensão. Isso nos levou a escolher os conteúdos de transporte de substâncias na membrana plasmática e a atividade enzimática, em que há a necessidade de efetuar operações de tratamento dos registros de representação, a primeira com as regras de passagem entre os meios interno e externo das células e a segunda na forma como as enzimas interagem com seus substratos e quais fatores as afetam. A partir desse momento, levantamos quais experimentos seriam simples, seguros e que produzissem resultados visualmente contrastantes para a análise. Assim foram definidos: o experimento de osmose em ovo de galinha e a produção de gelatina com abacaxi.

A prática sobre a osmose consiste em cozinhar três ovos de galinha e retirar suas cascas. Então, os ovos têm sua massa aferida em balança e são postos em três beakers com meios distintos: dois em meio hipotônico, com água destilada e água da torneira e outro em meio hipertônico, com a solução de água e três colheres de sopa de cloreto de sódio. Os ovos têm a sua massa medida no final do 1º dia e ao final do 2º dia, e assim, a comparação entre as massas é feita. Os conceitos do experimento envolvem as substâncias polares que atraem a água, a natureza da membrana plasmática e as diferentes concentrações dos meios interno e externo.

O experimento de atividade enzimática faz com que a enzima bromelina degrade as ligações dos aminoácidos da cadeia de colágeno da gelatina. Quando resfriada, não há reorganização dos aminoácidos do colágeno e a água não permanece entre as suas moléculas, resultando em uma gelatina de aspecto líquido. Ao mesmo tempo, caso o abacaxi tenha sido previamente cozido, o que desnatura

as suas enzimas, a adição de abacaxi na gelatina não tem efeito algum. Nessa prática os conceitos de atividade enzimática, desnaturação e ligações peptídicas são evidenciados.

Os conceitos elencados podem ser divididos em três níveis: macroscópico, submicroscópico e simbólico (GABEL, 1999). Nossa perspectiva é a de permitir uma boa interação entre os níveis e orientar os estudantes para que sejam coordenados e bem representados. O nível macroscópico será o transcorrer da própria experiência, em que as mudanças observáveis nos ovos e na textura da gelatina nos fornecem informações. As experiências precisam ser explicadas no nível submicroscópico, para que as partículas envolvidas (solutos, solventes, enzimas, substrato) possam ser expressas na forma de modelos e possamos representar o ocorrido em nível molecular. Por fim, há um conjunto de símbolos (modo verbal e escrito, fórmulas, números e representação de elementos químicos) que consiste no conjunto de signos que evidenciam os aspectos qualitativos e quantitativos dos níveis macro e submicroscópicos. Por fim, de modo a ajudar no entendimento do fenômeno e diversificar os modos de representação, incluímos uma analogia no experimento conduzido, para que em conjunto com as representações canônicas e próprias, possam expressar apropriações mais singulares do fenômeno estudado.

Ao considerar esse conjunto de necessidades representacionais dos conteúdos, as Unidades Didáticas foram elaboradas para que desafios representacionais da Estrutura da Membrana Plasmática, Transporte Celular e Atividade Enzimática fossem postos aos estudantes, que intensamente produzissem representações próprias, em paralelo com a interpretação das canônicas e o seu refinamento. Para que os desenhos próprios não fossem uma “cópia”, e que já pudessem apresentar dados relevantes, foram elaboradas estratégias para introduzir

cada um dos conceitos a partir de desenhos simples, com baixa necessidade de conhecimentos prévios. Essas estratégias serão apresentadas nas etapas três, quatro e cinco, conforme a Figura 7.

2º Etapa - Apresentação das Normas dos Experimentos de Osmose e Atividade Enzimática

A perspectiva da multimodalidade se baseia na explícita discussão do papel das representações com os estudantes (PRAIN; TYTLER, 2013), em que os estudantes devem compreender os propósitos de cada representação, que funcionam para revelar aspectos dos conceitos. Por causa disso, introduzimos uma breve apresentação do conceito de signo, significado e significante (SAUSSURE, 2012). A ideia foi introduzir que cada palavra, imagem ou esquema tem significados específicos, que podem variar com a situação. Foi debatido como exemplo o uso das “setas” nas disciplinas de ciências. Discutimos que elas podem indicar vetores, sentido do movimento, movimento da matéria, deslocamento do equilíbrio químico, transferência de matéria e energia na cadeia alimentar, ou simplesmente, apontar uma estrutura. Esse exemplo foi preparado porque os estudantes já fizeram uma disciplina de Ecologia e de Química I.

Ao discutir método científico, nos lastreamos na perspectiva de Fang (2006), em que se aponta a distinção entre fala cotidiana e fala científica. A fala científica é mais denotativa para evitar ambiguidades, descreve processos e conceitos abstratos, enquanto a fala cotidiana é mais dinâmica, conotativa e possui mais relação com os sujeitos que interagem com os processos, é mais pessoal e menos abstrata. Por fim, discutimos as ideias elementares da multimodalidade, no que tange ao uso de várias representações, de que é elementar a produção de

representações próprias para a aprendizagem e que cada representação revela coisas e esconde outras, reforçando o aspecto de saber interpretar os signos científicos.

Em um momento, apresentamos os critérios de como os estudantes conduziram os experimentos, que deveriam ser filmados e narrados e produzida uma analogia em forma de imagem que pudesse sintetizar os conceitos trabalhados. Aqui, nos atentamos para a diferenciação de analogia, metáfora e exemplo (RIGOLON, 2008, 2011). A analogia precisa estabelecer pontes entre aspectos do análogo com aspectos do domínio-alvo (do conceito) que deseja se apresentar (DUIT, 1991). Foi reiterado então fizessem uma analogia visual e que soubessem quais conceitos do experimento se relacionavam com os de seu desenho. A metáfora foi explicada como quando não há detalhes dos elementos que se relacionam: “as mitocôndrias são uma usina de força”, por exemplo. Por fim, discutimos que exemplos podem ser utilizados, mas que não estabelecem comparações entre conceitos, apenas reúnem conceitos em uma categoria mais abrangente (DUIT, 1991).

Também deveriam imaginar um público leigo no assunto, para que o vocabulário fosse adaptado, com a liberdade de produzir paráfrases, imagens e analogias que suportassem a explicação. O experimento incluía um grupo de até sete pessoas que poderiam contar com o auxílio do professor. Também foi salientado que os conceitos centrais seriam abordados nas aulas e que isso ajudaria na execução e compreensão do experimento.

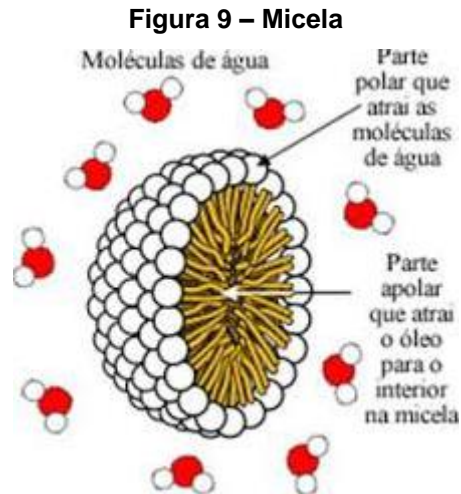
Apresentaremos agora as três etapas com as Unidades Didáticas sobre os conceitos escolhidos.

3º Etapa - Aula de Membrana Plasmática e Transporte Celular

A terceira etapa teve duração de 2 horas-aula e teve como objetivo a apropriação dos conceitos de polaridade e apolaridade, da bicamada lipídica da membrana celular, de suas proteínas de membrana e da difusão de substâncias.

Para introduzir o tema de apolaridade e polaridade, que interfere diretamente na compreensão da natureza da membrana plasmática e em como os solutos a atravessam, optamos por utilizar um organizador prévio (AUSUBEL, 2000), que tem o intuito de propor uma situação próxima aos estudantes e que possa ser utilizada para enriquecer conceitos posteriores. Assim, para explicar a natureza anfipática dos fosfolipídios, apresentamos a situação de “lavar a louça”, tratamos da necessidade de usar detergente e água para remover gorduras. Em contraste, discorremos sobre os motivos de que para retirar sal da louça não é necessário utilizar um detergente.

Em sequência, propusemos um desafio representacional para que desenhassem a organização das moléculas de detergente em uma solução com água. A ideia era que pudessem representar as interações das porções polares e apolares. Esse conteúdo remete às forças de Van der Waals, em que a alta polaridade das ligações torna as moléculas solúveis em substâncias polares, como a água, e que compostos fracamente polares ou apolares só serão dissolvidos em substâncias apolares (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013). Espera-se então, que os desenhos sejam produzidos e refinados até que a representação de uma micela (Figura 9) seja apresentada.



Fonte: Manual de aula prática de Química UFJF (UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, 2017)

Apresentado o modelo de polaridade e apolaridade, orientamos que um desenho de uma célula e suas estruturas fosse feito, com o intuito de descobrir os conhecimentos prévios a respeito do tema. Desenhos já esperados foram feitos, com a concepção de célula de “ovo frito”, já reconhecida enquanto um conhecimento prévio comum (RODRÍGUEZ PALMERO, 2003). Depois desse ponto, apresentamos uma foto de uma célula em microscopia óptica e em microscopia eletrônica de transmissão, para que “a linha” da membrana celular pudesse ser interpretada.

Adiante, seguimos com a apresentação da representação molecular dos fosfolípidios em duas dimensões em perspectiva, e assim, indicamos mais um desafio representacional com a solicitação de um desenho da membrana plasmática em duas dimensões, sem perspectiva, com uma bicamada lipídica (detalhada com uma “cabeça” polar e uma “cauda” apolar) e com canais de membrana. Seguiu-se com o uso de animações para expressar o movimento das moléculas de soluto e outros refinamentos foram dialogados para apresentar a passagem de moléculas pela membrana.

Nessa atividade esperamos que construíssem suas representações próprias, aliadas à interpretação das representações canônicas (fotos, imagens e animações), com a associação das estruturas na forma de legendas indicativas, e, com orações que indicassem a explicação dos fenômenos. Cada estudante fez esse trabalho individualmente, com possibilidade de interagir para intercambiar ideias, o que ocorreu de forma rotineira.

Para a análise dos dados, escolhemos todos os desenhos que apresentassem alguma informação diferente, no nível do significativo ou do significado, sendo ignorados os que tinham informações repetidas.

4º Etapa - Aula de Membrana Plasmática e Transporte Celular

Essa aula contemplou a representação de diferentes meios: hipertônico, hipotônico e isotônico, baseando-se na representação em duas dimensões da membrana plasmática desenvolvida na 3º Etapa. O desafio representacional envolveu desenhar os distintos meios com a correta expressão da desigualdade dos solutos e da direção do movimento das moléculas de água. Também utilizamos representações canônicas da passagem da água em animações e imagens de células animais e vegetais, assim como exemplos da osmose em situações cotidianas, como temperar a salada ou o consumo de cloreto de sódio e aumento da pressão sanguínea.

A Unidade Didática desenvolvida nas Etapas três e quatro é um apoio à execução do experimento de Osmose, para que os estudantes já tenham produzido, interpretado e refinado o fenômeno em nível submicroscópico. De forma idêntica à

etapa três, todos os desenhos foram recolhidos e todos os que apresentavam originalidade nos significantes e/ou no significado foram analisados.

5º Etapa – Aula de Atividade Enzimática

A aula teve o objetivo de representar as variações da atividade enzimática pela variação de temperatura, a manutenção das enzimas após o processo de degradação e a conversão dos dados em um gráfico. Os conteúdos dessa aula também serviram de suporte para a elaboração do Experimento da Gelatina, ao focar em construir desafios representacionais submicroscópicos do processo de degradação.

A estudante deveria construir uma reação entre a enzima e um dissacarídeo (lactose) e indicar a integridade da molécula da enzima após o processo e a divisão do carboidrato. Para tal, utilizamos representações canônicas em imagens e animações, para subsidiar o início dos desenhos próprios. Após esse primeiro momento, elaboramos uma modificação no ambiente: o aumento de temperatura. Dessa forma, as estudantes deveriam realizar operações sintagmáticas, tratamentos, em sua representação, o que ocasionaria maior movimentação das moléculas e maior velocidade da reação. Para enriquecer o repertório associativo, utilizamos exemplos a respeito da conservação de alimentos em geladeira e o metabolismo de bactérias, também sobre a diferença de metabolismo entre animais homeotérmicos e poiquilotérmicos.

Ao final da atividade, uma atividade de conversão foi solicitada, que evidenciasse em um gráfico o aumento da atividade enzimática e seu declínio depois de 40°C. Essa tarefa final envolve o conceito-chave de desnaturação das enzimas

em altas temperaturas, que subsidia a compreensão do cozimento do Abacaxi e a consequente inativação das enzimas no Experimento do Abacaxi.

Com o mesmo padrão das etapas anteriores, todos os desenhos que continham originalidade no significativo ou no significado foram aproveitados, os repetidos foram descartados.

6º Etapa Apresentação dos Experimentos em Vídeo e da Analogia

Os vídeos foram apresentados em projetor para toda a turma. Posteriormente, a analogia produzida também foi projetada e um debate do vídeo foi realizado ao final. As apresentações foram organizadas em blocos, com o Experimento da Gelatina no início e o da Osmose ao final. Optamos por esse meio para realizar uma discussão geral de cada tema dos experimentos em conjunto, para discutir e refinar mais profundamente os conceitos. Esse método também foi utilizado para evitar possíveis constrangimentos dos estudantes e evitar receios no grupo subsequente. Dessa forma, ao final de cada vídeo, no Anexo D, os comentários do docente são mais pontuais e rasos, e ao final de todas as apresentações daquele experimento fizemos as discussões mais densas.

No Experimento da Gelatina, esperamos que os conceitos de desnaturação, degradação e o de estrutura das enzimas e proteínas fossem apresentados no nível macroscópico e submicroscópico. Isso exigiria apropriar-se da estrutura molecular do colágeno, compreender a interação do colágeno com as moléculas de água durante seu resfriamento e as razões de sua degradação pela enzima bromelina do abacaxi.

Para o Experimento do Ovo, os conceitos de osmose, meios hipertônico e hipotônico e de estrutura da membrana plasmática são essenciais. Apenas pela forma externa do ovo não se verifica se há perda ou ganho de água, assim o procedimento incluiu uma balança para que o grupo pudesse apresentar dados objetivos dessa diferença. No nível submicroscópico, os estudantes deveriam representar as diferenças de soluto nos diferentes meios e a movimentação das moléculas de água pela membrana semipermeável. Esse experimento também demandava uma maior disciplina dos estudantes quanto à sua execução, pois caso as medições não sejam feitas nos dois primeiros dias, a difusão do cloreto de sódio para dentro do ovo pode alterar os resultados. Além disso, pode ocorrer um processo de degradação do ovo por microrganismos, o que altera substancialmente a sua massa.

Ao todo, seis vídeos foram produzidos, sendo três de cada experimento. Dois vídeos foram excluídos da análise, um sobre o experimento de osmose, pois a analogia em imagem não foi entregue em conjunto com a apresentação em outro e grupo houve atraso na confecção do vídeo. Essas exclusões foram feitas para que não houvesse disparidade na análise dos critérios de discussão em grupo do vídeo e da analogia.

7º Etapa Análise Semiótica

Para a análise, procedemos com a triagem de todos os dados coletados. Nas etapas três, quatro e cinco, as aulas foram transcritas, todas as imagens e animações utilizadas pelo docente foram armazenadas e os desenhos produzidos pelos estudantes foram organizados. Todos os dados foram dispostos no software

de análises quali-quantitativas MAXQDA®, utilizado para a organização dos dados, transcrição dos áudios e codificação dos conceitos.

Em cada uma das aulas, os conceitos essenciais de cada assunto foram elencados, conforme disposto na Figura 7. Dentro do MAXQDA®, cada um desses conceitos é adicionado como um código, e assim, é possível codificar trechos de texto, vídeos, fotos e imagens. O software gera uma lista de onde as codificações aparecem, fazendo com que uma cadeia paradigmática seja facilmente visualizável, conforme exposto na Figura 10. Na porção superior, onde está localizado o círculo preto, encontra-se a lista de código criada. Logo abaixo, foi selecionada a aba do código “Desnaturação”. Dessa maneira, é possível observar a lista de todos os trechos atribuídos, em narrações, animações e imagens.

O processo de codificação obedeceu a uma associação ao nível do significante ou do significado. Por exemplo, o conceito de desnaturação foi imputado na transcrição do vídeo do experimento “Cozinhar até que fervesse” e “Por que a gelatina com o abacaxi cozido não tem ação”, em um trecho do debate do vídeo, “tem uma desnaturação” e em imagens utilizadas pelos estudantes, expostas nas Figura 40 e Figura 41.

Figura 10 – Print do MAXDQA

The screenshot displays the MAXDQA 2018 software interface. The top window, titled 'MAXQDA 2018', shows a tree view of codes. The 'Conjuntos' (Groups) folder is expanded, showing sub-folders like 'Membrana Plasmática' and 'Enzimas'. Under 'Enzimas', the code 'Desnaturação' is circled. The right side of the top window shows a toolbar with icons for 'Análise', 'Métodos Mistos', and 'Ferramentas'. The bottom window, titled 'Segmentos codificados', shows a table of codifications for the code 'Desnaturação'. The table has columns for 'Grupo de docum...', 'Nome do docu...', 'Código', 'Início', 'F...', 'Result...', and 'Pré-visualizaç...'. The table contains 11 rows of data, with the last row highlighted in green.

Grupo de docum...	Nome do docu...	Código	Início	F...	Result...	Pré-visualizaç...
Grupo 1 MA	Video	Desnatur...	1	1	0	cozinhar até que...
Grupo 1 MA	Video	Desnatur...	4	4	0	A gelatina endur...
Transcrição da Apre...	AP Meio Ambiente	Desnatur...	10	10	0	Por que a gelatin...
Transcrição da Apre...	AP Meio Ambiente	Desnatur...	11	11	0	or que quando é...
Transcrição da Apre...	AP Meio Ambiente	Desnatur...	13	13	0	Tem uma desnat...
Transcrição da Apre...	AP Meio Ambiente	Desnatur...	14	14	0	são muito aqueci...
Transcrição da Apre...	AP Meio Ambiente	Desnatur...	14	14	0	á para ver que e...
Transcrição da Apre...	AP Meio Ambiente	Desnatur...	14	14	0	chega numa cert...
Grupo 1 MA	Destruindo a par...	Desnatur...	39 40	85 76	0	<IMAGE>
Transcrição Aula de ...	Micela 1	Desnatur...	8 22	175...	0	<IMAGE>
Grupo 1 MA	Analogia	Desnatur...	433 1...	600...	0	<IMAGE>

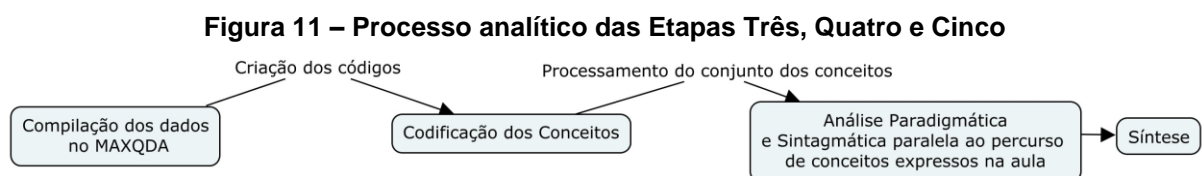
Fonte: O próprio autor

O compilado dos códigos é uma análise do eixo paradigmático, da cadeia de associações formada a partir do significado (conteúdo) ou da parcela de uma imagem ou vídeo (significante), que representa o conceito elencado. Desse

momento em diante, há duas vias diferentes de análise: das aulas (etapas três, quatro e cinco) e da apresentação dos experimentos (etapa seis).

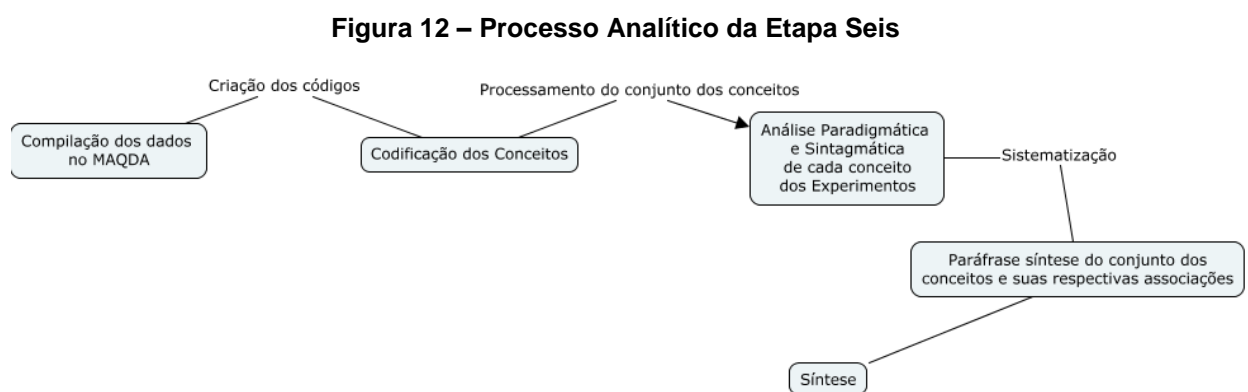
Para as aulas, optamos por desenvolver a análise simultânea ao transcorrer da aula, para que pudessem ser captadas as alterações de expressão dos estudantes, em todos os registros de representação (verbal e desenhos). Dessa forma, pudemos observar como a construção dos desenhos próprios, a interpretação das representações canônicas, as explicações e perguntas do docente e as respostas dos estudantes, interferiam no conjunto de significados expressos. Ao analisar como o conjunto de associações interfere no significado, entramos nas análises extensivas e sintagmáticas.

Nesse tema, as imagens são distintas da linguagem por decorrência de seus signos se apresentarem de modo simultâneo, enquanto o modo verbal ou escrito é sequencial (PENN, 2002). Ao analisar uma oração escrita ou falada, os termos subsequentes modificam o eixo sintagmático, constituindo uma relação *temporal*. Uma imagem tem os seus signos expressos ao mesmo tempo, indicando uma relação *espacial*. Quando fizemos a análise sintagmática, consideramos o conjunto de associações dentro de cada aula, do que foi escrito, falado ou desenhado. Esses significados foram comparados com a literatura científica adequada ao ensino médio, ou seja, relativo aos livros didáticos que os estudantes têm disponível, como Martho e Amabis (2015) e. A análise está esquematizada na Figura 11.



Fonte: O próprio autor

Para a etapa seis, dos vídeos dos experimentos, a análise paradigmática foi idêntica à anterior, transcrevemos a narração do vídeo e o debate em aula, todos os frames do vídeo e a analogia visual foram listados no MAXQDA® e as categorias escolhidas foram codificadas. A diferença ocorreu ao final, em que produzimos uma paráfrase, um sintagma que sintetizasse as definições que o grupo apresentou durante a apresentação do experimento, da analogia e do debate, como exposto no Quadro 4. Dessa maneira, pudemos obter uma definição abrangente que relacionasse todos os conceitos usufruídos. A partir de cada monema em que ocorresse alguma associação pelo grupo, todos os significados associados a ele (sejam verbais, escritos ou imagens) foram agrupados, para visualizarmos o conjunto de paradigmas compartilhados daquela atividade. A Figura 12 apresenta o quadro síntese da análise. A seguir vamos expor os critérios que utilizamos para analisar as apropriações de conceitos.



Fonte: O próprio autor

4.3 Critérios para a apropriação de conceitos

Nossa pesquisa é centrada em como os significados compartilhados, por meio das representações próprias e canônicas, propiciam a apropriação de conceitos. Assim, toda a metodologia foi orientada para que houvesse situações didáticas para a expressão desses conceitos, da forma mais genuína possível. Diferenciamos o processo em duas etapas de análise distintas: durante as aulas, o principal objetivo foi o de ambientar os estudantes para que produzissem as representações próprias e interpretassem as canônicas, assim, primamos por analisar a variedade de significados compartilhados e não a apropriação dos conceitos. Foram selecionados os desenhos que diferenciamos, não acompanhamos a variação dos desenhos de cada aluno. Na segunda parte em que analisamos os experimentos, fizemos a análise semiótica dos significados compartilhados e a apropriação de conceitos de cada grupo, porque analisamos a variedade de conceitos expressos pelos por um conjunto de pessoas determinado.

Esse processo da apropriação de conceitos está subsidiado por Vigotski, (2009), em que versa sobre uma fala genuína, voltada para a apropriação de conceitos, para que não sejam apenas repetidos ou imitados. Esse percurso de apropriações de conceitos substitui uma etapa mais despreendida da fala, a dos conceitos espontâneos, para uma forma mais conceituada, em que essa fala encontra relação com esquemas lógicos e de razão exteriores a ela (VIGOTSKI, 2004). Um dos indícios de que os conceitos científicos passam a ser predominantes aos espontâneos em dado aspecto é o momento quando uma nova categoria é apresentada, e ocorre uma generalização, há uma rede de relações com categorias preexistentes e a formação de outras mais abrangentes (VIGOTSKI, 2004).

O compartilhamento desses conceitos em uma situação de aprendizagem é realizado na interlocução entre o docente e os estudantes. Para tal, essa intermediação pela linguagem é, por essência, dialógica (VOLÓCHINOV, 2017), pois os sentidos das palavras não estão “nelas mesmas”, mas compreendidos no contexto em que ocorrem. Cada palavra de um falante é tomada da reserva social de signos disponíveis, sendo que a constituição individual de um enunciado concreto é totalmente dominada por relações sociais. (VOLÓCHINOV, 2017). Assim, a definição de compreender um enunciado é a possibilidade de orientar-se em relação a ele em um texto correspondente, acrescentando uma camada de nossas palavras (VOLÓCHINOV, 2017). Quanto maior for o seu número e quanto mais essenciais e relacionadas ao conceito forem, mais profunda será a compreensão (VOLÓCHINOV, 2017).

O ponto angular que interfere em nossa metodologia é que essa “adição de camadas responsivas” é executada no modo verbal, sendo uma operação de tratamento, a criação de uma paráfrase. Volóchinov (2017) ainda destaca que esse diálogo não pode ser compreendido enquanto falantes “face a face”, ele também pode ser um livro, um discurso verbal impresso. Portanto, consideramos elementar que os aprendizes produzam essas respostas, mas os critérios de aprendizagem em nosso trabalho assumem a passagem do discurso monomodal, centrado no modo verbal escrito e falado, para o multimodal, em que as representações demandam uma maior variedade de modos como condição essencial do discurso contemporâneo (KRESS et al., 2001; KRESS; LEEUWEN, 2006).

Dessa forma, os critérios para analisar as apropriações de conceitos foram lastreados pelas relações paradigmáticas e sintagmáticas. Para o eixo associativo, quanto maior o número de associações corretas para dado conceito, manifestas em

múltiplas representações, maior é o seu grau de apropriação. É relevante apontar que a análise paradigmática também revela contradições. Quando integramos os variados tipos de representação, por vezes há impropriedade nas associações feitas em um contexto relacionado a outro. Nesse aspecto, a análise sintagmática é imprescindível para coordenar os discursos e verificar conceitos em possíveis ocorrências antagônicas. Essa ação foi realizada em nível temporal, quando analisamos conceitos dispersos no conjunto de uma aula ou apresentação, e em nível espacial, quando foi discutido o conjunto de sintagmas de uma imagem.

Destarte, o conjunto da análise paradigmática e sintagmática nos revela a associação e a relação do conjunto dos conceitos postos em variados modos de representação. O critério de aprendizagem é uma síntese entre as ideias de Vigotski (2009), Volóchinov (2017) e da multimodalidade (PRAIN; TYTLER, 2013; WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006). Assim, quanto maior a adição de palavras, imagens, fotos, analogias, exemplos, legendas, desenhos, etc. e mais profunda as relações entre elas, maior será considerada a apropriação do conceito.

RESULTADOS E ANÁLISE DAS REPRESENTAÇÕES PRODUZIDAS EM AULA

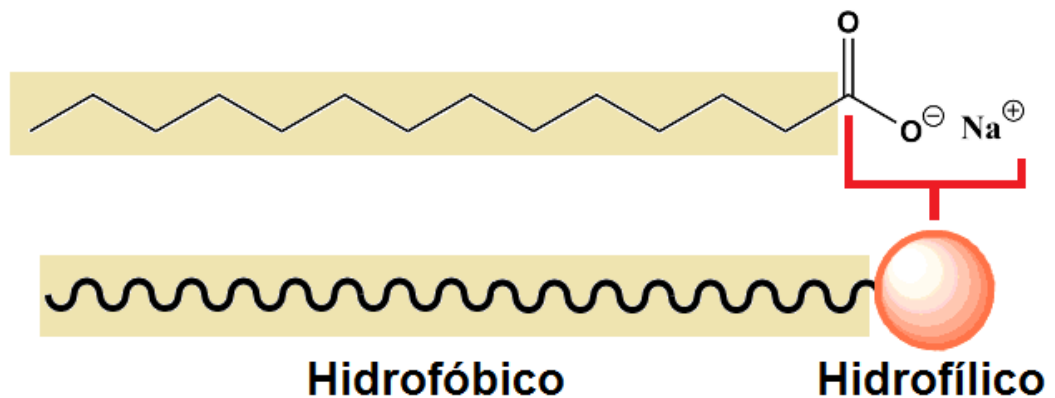
5.1 Aula 1 – Estrutura da Membrana Plasmática e Transporte de Substâncias

A aula tinha como objetivos a aprendizagem dos conceitos de membrana plasmática e sobre o movimento dos solutos. Esperamos que os estudantes dialoguem sobre as questões apresentadas, interpretem as imagens de Biologia Celular e que possam representar, em uma sucessão de desenhos, aspectos da membrana plasmática e do movimento de solutos. A íntegra da transcrição da aula está no Anexo A.

Iniciamos a aula apresentando o tema da lavagem de louça com o objetivo de definir que existem moléculas com uma dupla natureza: interagir e não interagir com a água, sendo polares e apolares ao mesmo tempo (Linhas 1 até a 17). Para provocar a primeira representação própria dos estudantes, nossa ideia é a de dispor em um recipiente com água o detergente, instigando para que desenhem moléculas em meio aquoso (Linha 18).

Os alunos questionaram como poderiam diferenciar as porções polares e porções apolares, e assim, apresentamos uma representação de uma molécula de detergente, conforme a Figura 13.

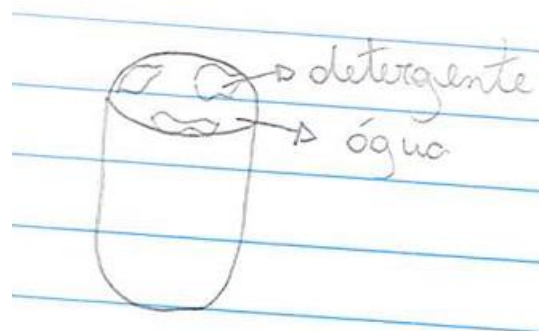
Figura 13 – Representação da Molécula de Detergente



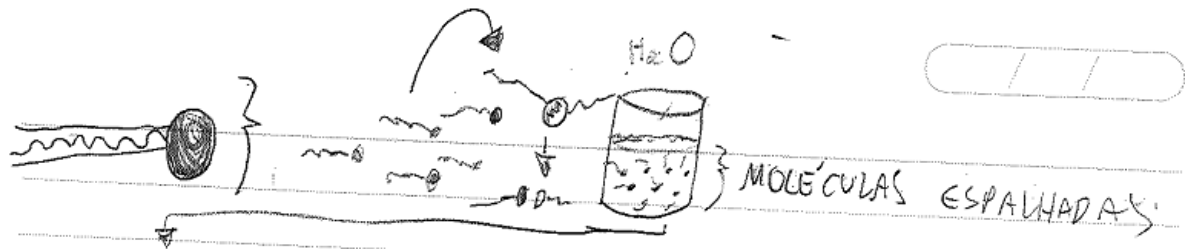
Fonte: (O MUNDO DA QUÍMICA, 2015)

A partir dessa representação canônica, solicitamos que os estudantes esquematizassem como várias dessas moléculas estariam na água, se ficariam soltas, juntas, ligadas por alguma porção ou de outra forma. As representações dos estudantes estão na Figura 14.

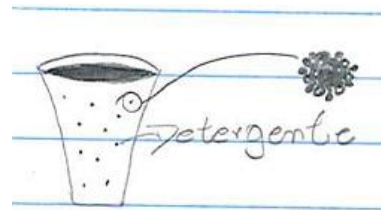
Figura 14 – Representações da molécula de detergente



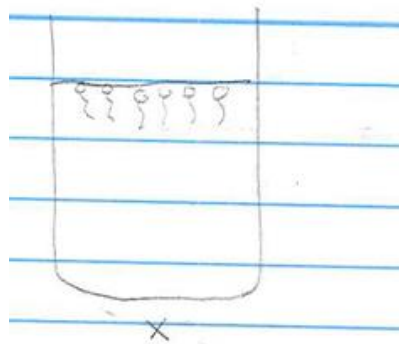
a)



b)



c)



d)

Fonte: Estudantes

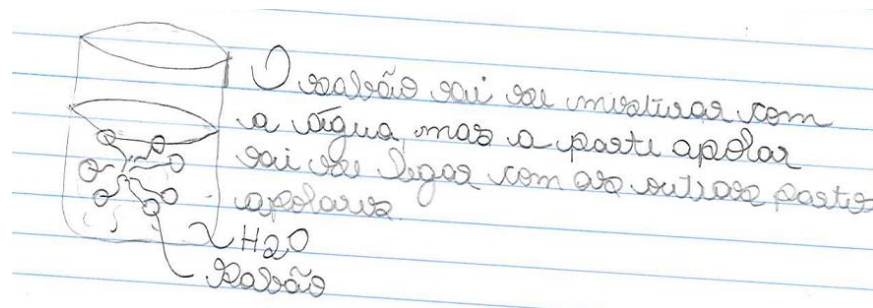
O tipo predominante de desenhos foi semelhante ao “a”, com porções de detergente e água não misturados, mas sem que as moléculas fossem individualizadas. Houve parecidos ao “d”, em que as moléculas aparecem com sua cabeça e cauda, na superfície do líquido. Os desenhos “b” e “c” são únicos, com a distribuição uniforme das moléculas de detergente pelo recipiente.

Os desenhos iniciais contêm um recipiente com água e representações das moléculas de detergente. Em “a” temos a separação entre o detergente e a água, de forma que as moléculas apolares ficam agrupadas e separadas da água, além de se

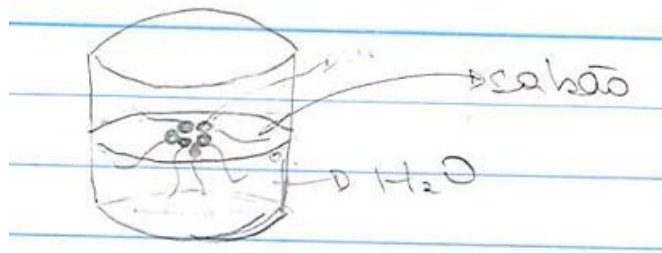
apresentarem na superfície. Em “b” a figura inicial apresenta um maior detalhamento do detergente, transpondo a imagem canônica com a cabeça hidrofílica e cauda hidrofóbica, dentro do recipiente. As moléculas estão aleatoriamente distribuídas, com unidades de detergente sem relacionar-se com outras. A figura “c” repete o padrão aleatório, mas o “ponto” de cada detergente é ampliado, mostrando que há uma atração entre as moléculas. Por fim a figura “d” desenhou representações moleculares, mas que não possuem atração umas com as outras.

Essas primeiras apresentações nos dão uma ideia espacial de entendimentos dos estudantes em relação a moléculas anfipáticas em meio aquoso. A partir desses dados iniciais, iniciou-se a discussão de como as porções polares e apolares do detergente irão interagir. Compartilhou-se a informação que as porções apolares do detergente devem ficar próximas, se afastando da água, reforçando as porções do detergente que são hidrofílicas e hidrofóbicas (Linhas 18 a 31). A partir dessas informações, tivemos um novo momento para refinar as imagens, expostas na Figura 15.

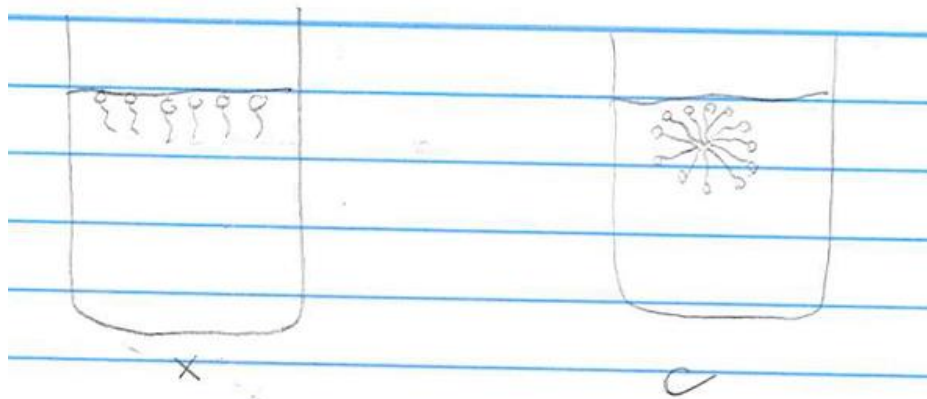
Figura 15 – Desenhos Refinados



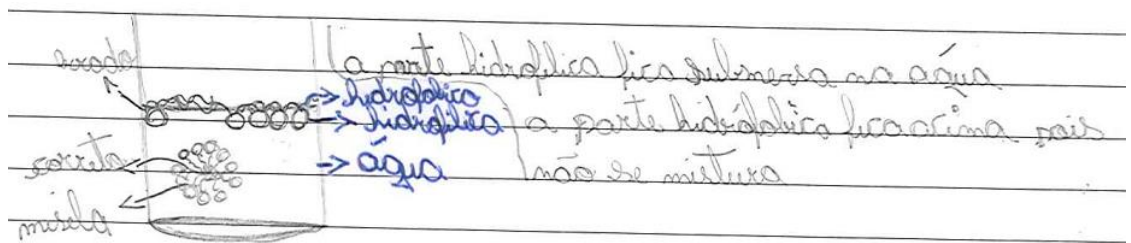
a)



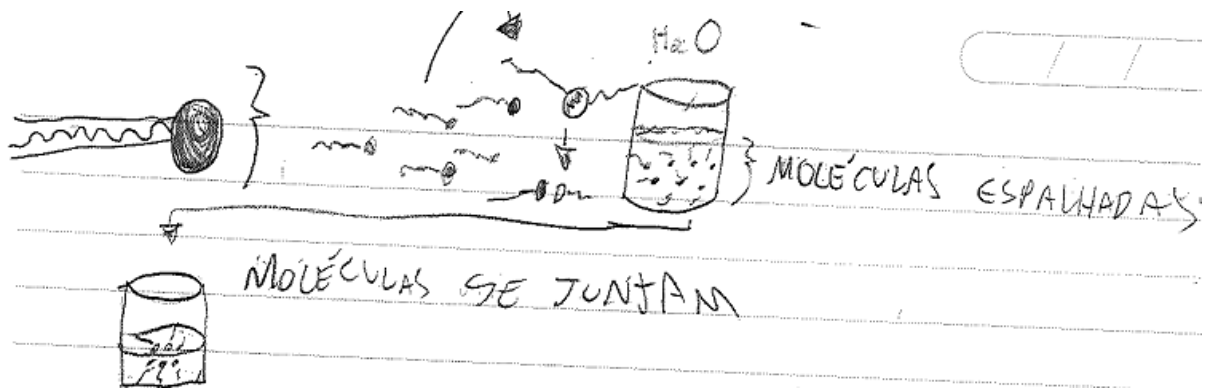
b)



c)



d)



e)

No primeiro momento de refinamento, os estudantes expressaram duas variações básicas, desenhar a organização das moléculas de detergente pela porção polar (como em “b” e “e”) ou pelas suas caudas apolares (em “a”, “c” e “d”)

O desenho “a” indicou a atração da porção polar do sabão com a água, enquanto as porções apolares das moléculas de detergente atraíam-se mutuamente. Há uma legenda explicativa do fenômeno para reforçar o conteúdo do desenho. A figura “b” inverteu as porções polares e apolares, fazendo com que as caudas hidrofóbicas fiquem para fora da estrutura esférica. É relevante que a figura um esforço para representar as moléculas na superfície da água, com o desenho em perspectiva para expressar incorretamente uma menor densidade do detergente, fato que não ocorreu em outros. O estudante na figura “c” deixou o desenho anterior e o novo lado a lado (em geral os estudantes apagavam os considerados “errados”, mesmo que sendo orientados do contrário) e evidenciou a oposição entre as moléculas dispostas aleatoriamente e as organizadas com as forças moleculares atuando.

A figura “d” apresentou uma informação nova na legenda, em que manifestou incorretamente o detergente como um tipo de sal, mas apresentou a parte hidrofílica como algo submerso, sendo que essa porção é uma modificação do desenho inicial, quando as moléculas de detergente na superfície. Por fim na figura “e” temos o desenho em processo, que vai das moléculas de detergente dispostas aleatoriamente até a forma organizada, com a porção hidrofílica incorretamente ligada para dentro.

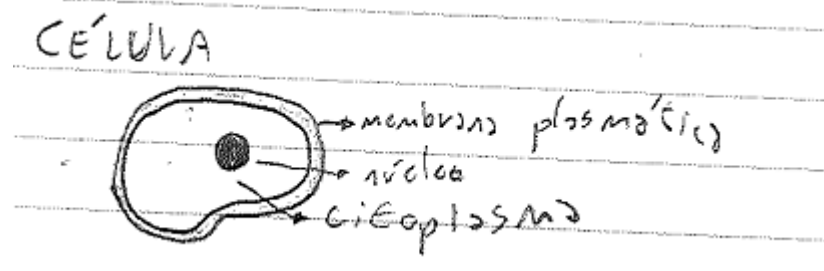
Esses dois conjuntos de desenhos evidenciaram que o refinamento dos conceitos pode resolver problemas de representação insatisfatórios, mas, gerar novos erros como na associação incorreta na entre sal e detergente na imagem “d”

da Figura 3. As categorias paradigmáticas e sintagmáticas da imagem se mesclam agora, mais do que associar corretamente as porções polares e apolares das moléculas, os estudantes deveriam organizar o eixo extensivo da imagem, dispondo as unidades de detergente em uma forma esférica.

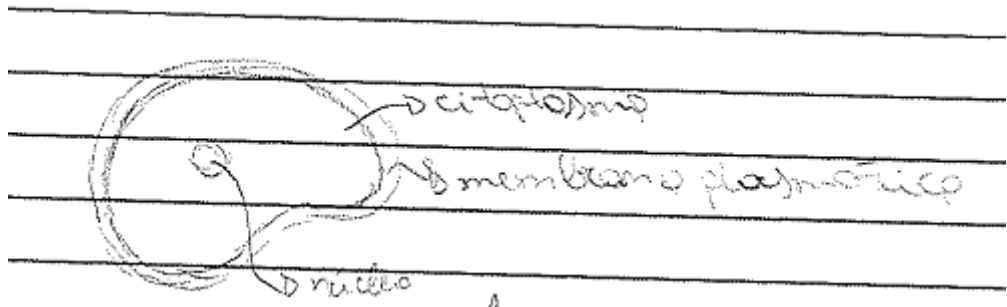
No momento subsequente, discutimos a disposição correta das porções hidrofóbicas e hidrofílicas em água e a aula foi direcionada para o conteúdo de Biologia Celular. Nesse ponto expusemos que as unidades da membrana plasmática são constituídas de fosfolipídios, moléculas que compartilham da natureza anfipática do detergente (Linhas 32 a 43). As moléculas foram desenhadas no quadro, apontando uma porção polar e cadeias duplas apolares. Ocorreu uma intervenção do professor para que houvesse a diferenciação entre os conceitos de análogo e o conceito-alvo, reforçou-se que os fosfolipídios não são detergentes, que não há “sabão dentro dos nossos corpos” (Linha 47) e que o processo da analogia só é válido para a propriedade anfipática que tanto os sabões, quanto os fosfolipídios, compartilham.

Depois de demarcar a constituição fosfolipídica da membrana plasmática, orientou-se que um novo desenho fosse feito, a partir das lembranças dos estudantes do que seria uma célula (Linha 48). Reforçou-se que poderiam fazer de forma livre e simples. Os resultados estão dispostos na Figura 16.

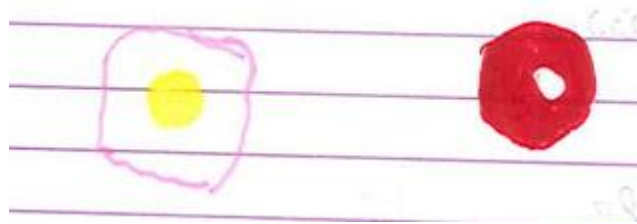
Figura 16 – Desenho de Células dos Estudantes



a)



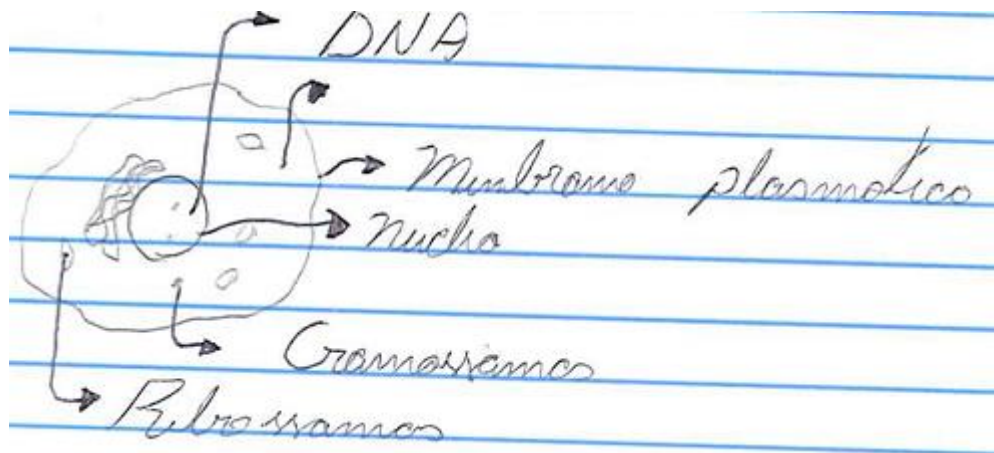
b)



c)



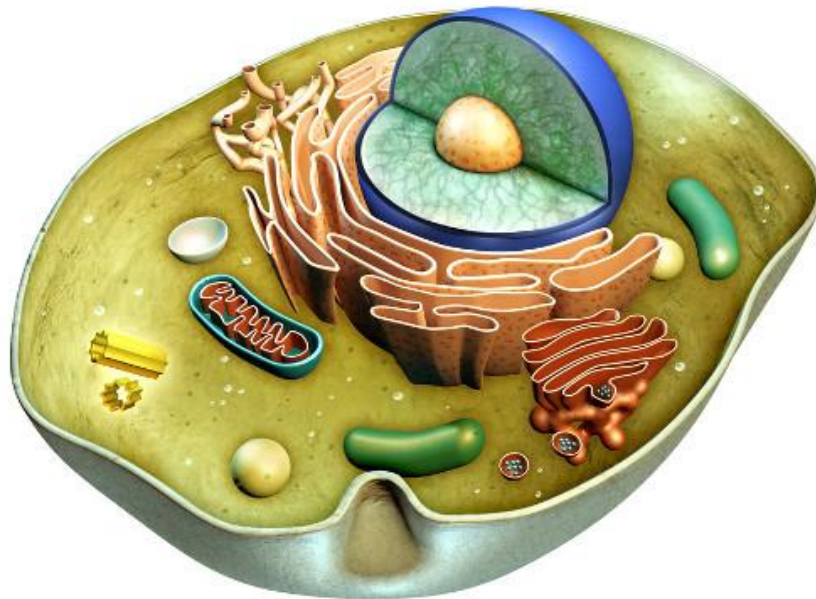
d)



e)

As células desenhadas seguiram o formato básico de duas dimensões, com uma demarcação do núcleo, citoplasma e membrana plasmática (Nos itens “a”. “b” e “e”) e com um maior detalhamento no desenho “e”, apontando os ribossomos dispersos no citoplasma, o DNA presente no núcleo e cromossomos erroneamente postos no citoplasma. O desenho próprio dos estudantes foi utilizado como contraposição a um desenho canônico de uma célula em projetor, conforme a Figura 17 e perguntamos quais eram as diferenças entre os desenhos que foram feitos por eles e o exposto.

Figura 17 – Representação Canônica de Célula Animal



Fonte (MARTHO; AMABIS, 2015)

Houve respostas de que essa célula “é mais bonita” e que “a maioria só desenhou a membrana e o núcleo”. Também que essa célula “era mais bonita” e que estava “inteira” (Linha 52). Interpelou-se quais eram as diferenças, além das estruturas que possuíam a mais, como as organelas, e a resposta foi de que “nós desenhamos ela plana, mas ali está em três dimensões” (Linha 54). Em sequência,

perguntamos se as células são mesmo planas ou se possuem três dimensões, o que foi seguido por respostas de que elas possuem três dimensões (Linha 55).

A partir desse ponto, argui-se que é difícil imaginar a tridimensionalidade das células, porque estamos acostumados a representar as células somente em duas dimensões. Em sequência, falamos sobre a ida ao laboratório, em que poderíamos observar células ao microscópio e projetou-se uma foto de uma lâmina histológica de células animais, como a Figura 18.

Figura 18 – Lâmina de corte do epidídimo



Fonte: (MARTHO; AMABIS, 2015)

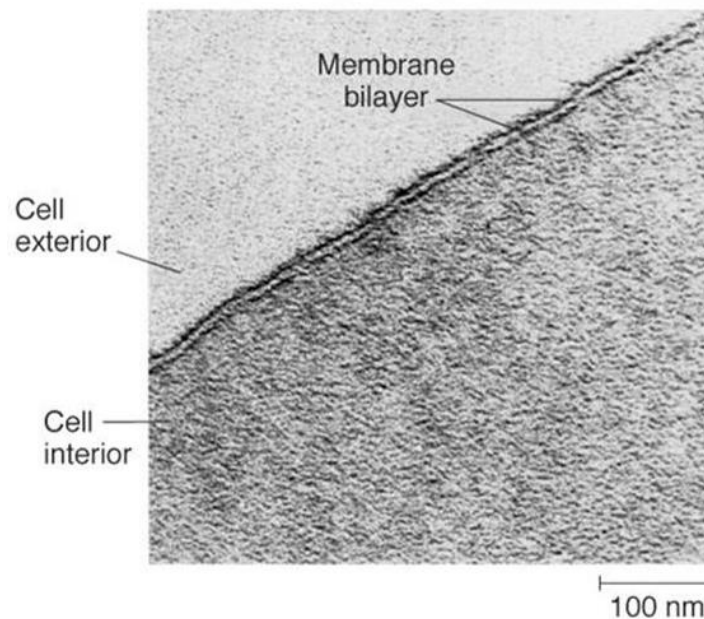
Em sequência, perguntou-se se a imagem era parecida com “o desenho de células feito por eles (Linha 58). Alguns responderam que “não parecia e outros que sim, apenas a cor que era alterada”. Continuou-se a inquirir tópicos sobre o desenho e então foi questionado onde estaria a membrana plasmática na foto exposta. Os estudantes responderam que a membrana plasmática está no limite rosa (Linha 64), mas quando o professor apontou com o dedo e perguntou novamente se ali estava a membrana, todos responderam que “não” (Linha 66). Seguiu-se a explicação que a membrana plasmática não é visível na microscopia luz por causa de sua ínfima espessura, entre 6 e 10 nanômetros, e que quando representamos a membrana

plasmática como uma linha ela não pode ser observada no microscópio de luz. (Linhas 67 e 68). Indagou-se então, quais seriam os motivos do porque as células parecem ter duas dimensões. A resposta de uma aluna veio no sentido de que a membrana é a parte mais clara, enquanto o núcleo é a porção mais escura, e que assim, como não conseguimos ver o limite das células e não percebemos que ela tem três dimensões (Linha 70).

Essa resposta gerou a oportunidade de associar a preparação dos materiais em microscopia e sua posterior observação. Debateu-se a necessidade de fazer cortes tão finos nos tecidos de modo a permitir que a luz o atravesse e assim possamos visualizar as células. Também seguiu-se uma explanação de que só vamos enxergar cores em células que já possuem pigmentos, como em células vegetais e em nossos glóbulos vermelhos, ou, em tecidos que aplicamos corantes específicos, exemplificando o caso da Figura 18 em que o núcleo está com a cor roxa (Linhas 71 a 74). Uma pergunta foi feita de se há “certos tipos de corantes para as células” e aproveitou-se para discutir sobre a natureza química das organelas, em que a porção ácida do DNA tem facilidade em se ligar com corantes básicos (Linha 75 a 77).

Para finalizar a interpretação das representações canônicas, foi projetada uma foto de microscopia eletrônica de transmissão (Figura 19) e apontou-se a máxima resolução em que podemos enxergar a membrana plasmática, atentando-se ao fato de que a membrana aparece como uma dupla camada (Linhas 78 e 79).

Figura 19 – Foto de Microscopia Eletrônica de Transmissão

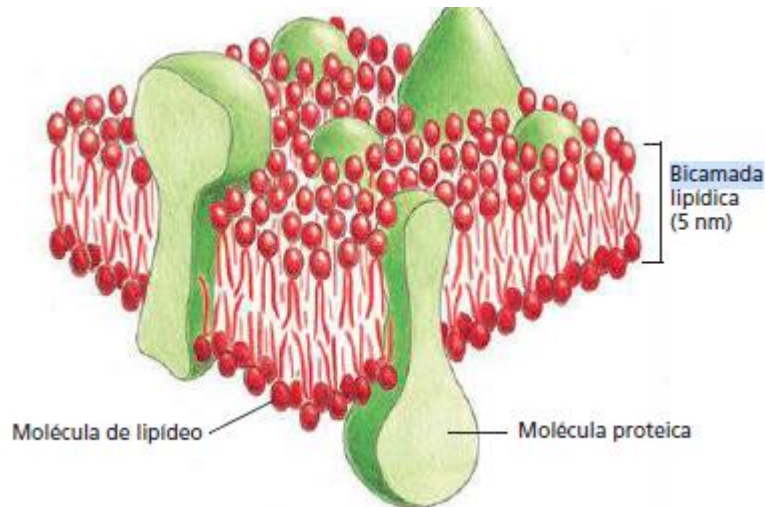


Fonte: Nucleus Medical Media (2015)

A partir desse ponto, com construção de representações próprias e a interpretação de representações canônicas, projetamos a imagem de uma membrana plasmática, de modo a dar sequência com o conteúdo de transporte de substância pela membrana plasmática (

Figura 20). Indagou-se quais seriam as porções polares e apolares apresentadas na imagem, tendo como resposta as “bolas brancas como polares” e “parte amarela” como apolar (Linhas 80 a 83). Em sequência, perguntou-se o que teria em maior quantidade dentro e fora da célula, ao que não souberam responder prontamente, até que com uma sequência de questões concluímos que temos água dentro e fora das células (Linhas 84 a 88).

Figura 20 – Representação da Membrana Plasmática



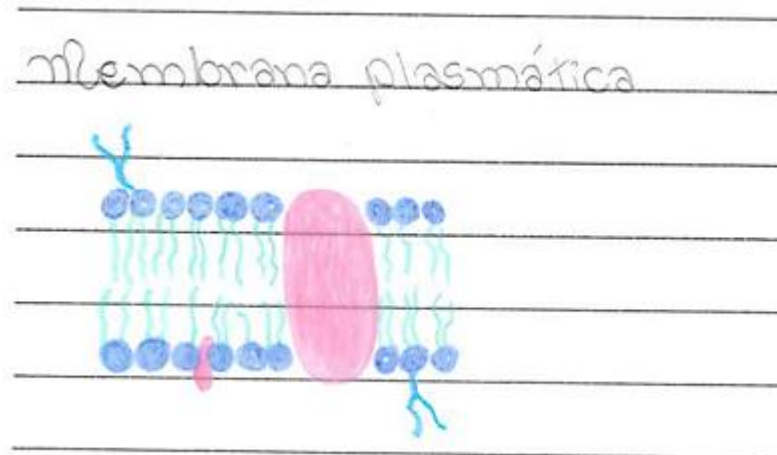
Fonte: Alberts et al., (2011)

Seguiu-se o debate sobre a representação da membrana plasmática e inquiriu-se quais os problemas em imaginar uma célula inteira e apenas esse pedaço da membrana. As respostas subsequentes falam que a representação está “só em um plano” e que “fica difícil imaginar onde que a célula fecha” (Linhas 92 e 93). Assim, fizemos uma intervenção de que cada representação nos mostra coisas e não nos mostra outras. E que essa representação nos permite ver a membrana plasmática em nível molecular, mas nos faz perder a dimensão de toda a superfície das células (Linha 93).

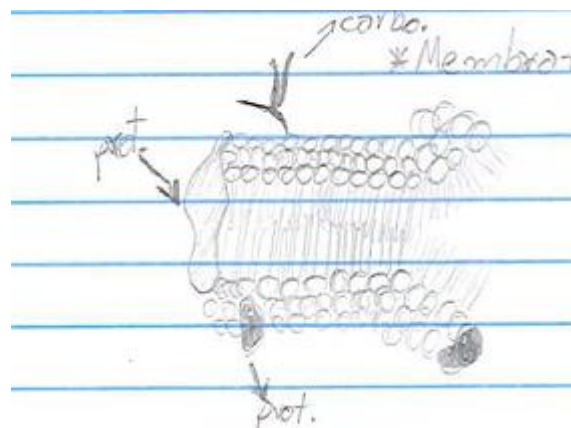
A partir desse ponto, foi explicado que as porções coloridas em vermelho e azul são canais de transporte da membrana, canais de proteína especializados no transporte de moléculas (Linha 94). Ademais, foi solicitado que os estudantes desenhassem membranas plasmáticas que contivessem os fosfolipídios e os canais de membrana. Os desenhos feitos são mostrados na

Figura 21.

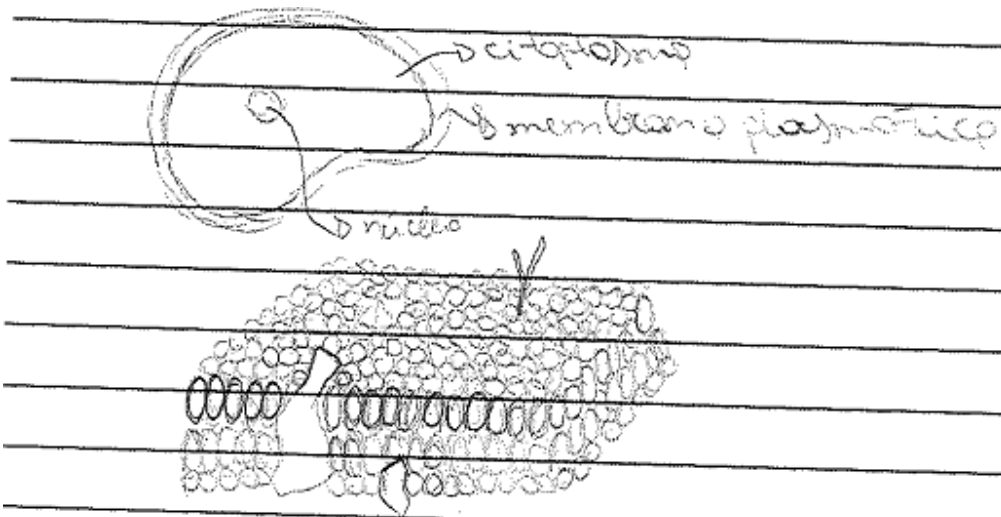
Figura 21 - Desenhos das Membranas Plasmáticas



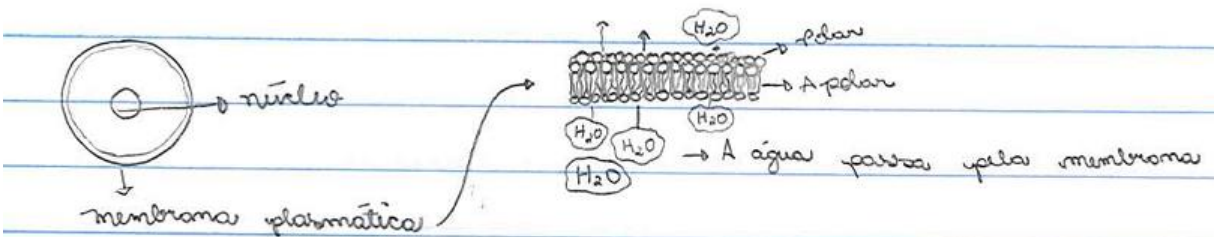
a)



b)



c)



d)

Fonte: Estudantes

Os desenhos “a” e “b” foram os tipos mais simples e comuns, em que somente as membranas plasmáticas foram feitas, expressando corretamente os canais de proteínas e os fosfolípidios. Os desenhos “c” e “d” contêm as diferentes representações das membranas. A primeira imagem feita foi integrada (associada no eixo paradigmático da imagem) com a representação molecular da membrana plasmática. São exemplos de que os desenhos se tornaram relacionados e complementares.

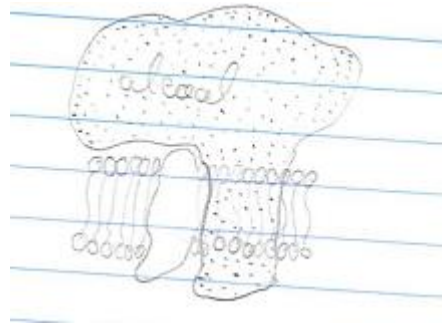
Findado o tempo para que os desenhos fossem feitos, iniciamos o conteúdo de transporte de substâncias ao expor e exemplificar com o processo alimentação, em que há digestão mecânica, química e posterior absorção de algumas substâncias

no intestino (Linhas 95 e 96). Esse ponto serviu para desenvolver o raciocínio que o tamanho das moléculas importa para a absorção. Em sequência, perguntou-se se a composição polar ou apolar das moléculas poderia interferir na sua entrada ou saída da célula. Definimos então que as moléculas polares são pouco solúveis pela membrana plasmática, enquanto as moléculas apolares são mais solúveis. Assim, conclui-se que o tamanho da molécula e a sua natureza polar ou apolar são os fatores que determinam a entrada e saída de substâncias pela membrana plasmática (Linha 97 a 99).

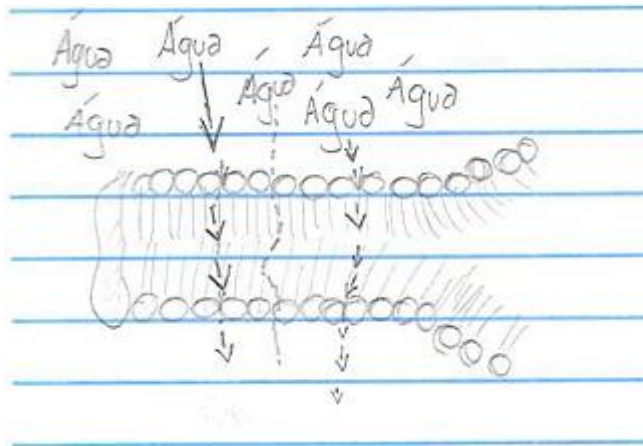
A partir desse momento, iniciamos a apresentação do conceito de difusão, em que há uma tendência das moléculas de movimentarem e ocupar todo o espaço em que se encontram de modo uniforme, partindo do meio mais concentrado ao meio menos concentrado. Utilizou-se um exemplo de colocar fogo em um papel na sala, em que a fumaça gerada se espalharia por todo o ambiente (Linha 100). A partir desse exemplo, foram feitas perguntas sobre concentrações de substâncias dentro e fora das células, indicando qual seria o movimento inicial, até que entrassem em equilíbrio (Linha 101 e 102).

Agora enveredamos para uma proposta de representação da passagem de substâncias pela membrana plasmática, obedecendo a dois critérios: o tamanho da molécula e sua polaridade. Os estudantes deveriam desenhar se a passagem ocorria pelo meio da membrana ou por algum canal de proteína (Linha 103). Segue abaixo as imagens na Figura 22.

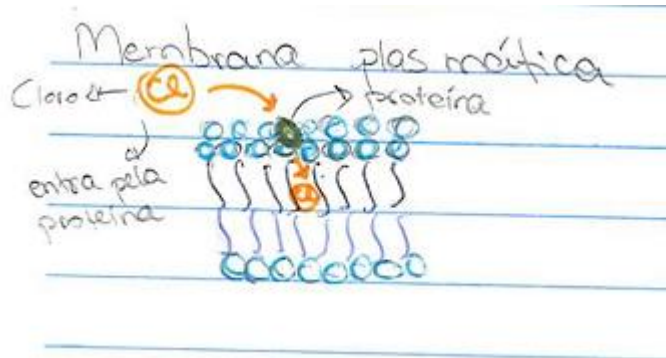
Figura 22 – Representações da Difusão



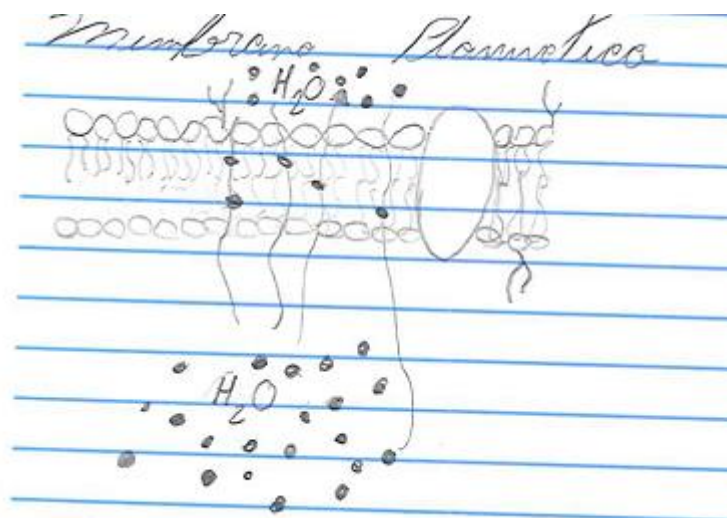
a)



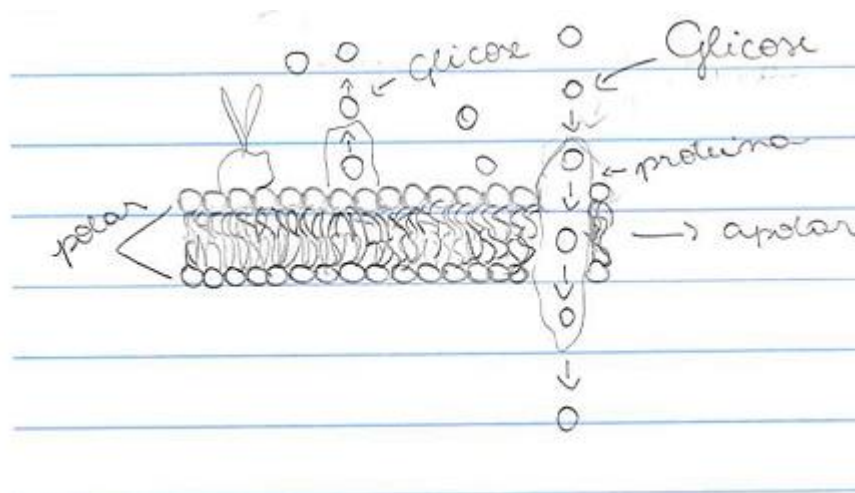
b)



c)



d)



e)

Fonte: Estudantes

Os desenhos seguiram o padrão de representar a membrana plasmática de modo bidimensional, indicar com legendas as estruturas e utilizar flechas e linhas para simular a movimentação das moléculas.

Na construção dos desenhos, houve várias perguntas sobre a natureza polar ou apolar das moléculas e seu tamanho. Foi instruído que procurassem essas informações em seus celulares e no livro didático. A figura "a" representa o álcool em maior concentração entrando na célula, a figura "b" e "d" mostram a água entrando e

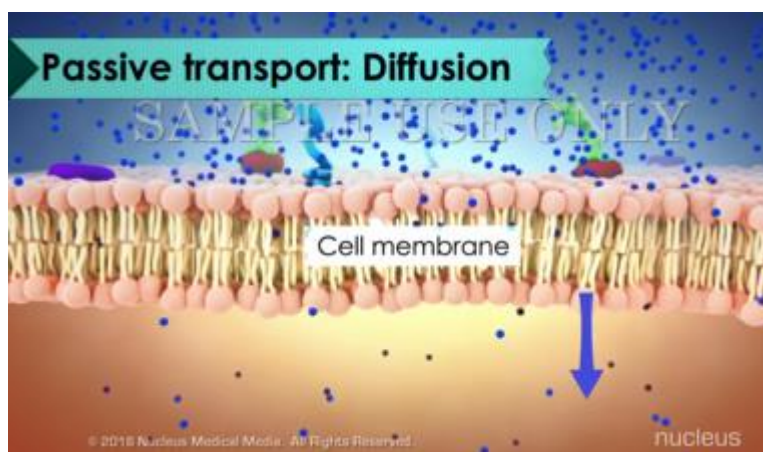
saindo das células. Mesmo que sejam moléculas polares, tanto os alcoois quanto a água são moléculas pequenas e se difundem facilmente, estando corretas as representações. As figuras “c” e “e” mostram processos de transporte celular por canais de membrana, utilizando o cloro e a glicose como exemplos. Os íons de cloro, mesmo que pequenos, são fortemente polares e pouco solúveis, enquanto a molécula de glicose é polar e muito grande para atravessar a membrana plasmática, sem que seja por canal de membrana. Ambos desenhos também estão corretos, embora o desenho “c” não detalhe a proteína de membrana por toda a bicamada lipídica.. Vários alunos perguntam simultaneamente sobre seus desenhos e essas questões (Linhas 106 a 110). Reforçamos que as representações contenham expressiva quantidade de substâncias para um melhor entendimento. As figuras “c” e “e” expõem poucas moléculas de cloro e glicose, o que não gera contraste das concentrações e dificulta a visualização do movimento. As figuras “a”, “b” e “d” apresentam as diferenças de concentração de forma acentuada, assim, facilitando a compreensão. Essa diferença é imprescindível para harmonizar a imagem no eixo sintagmático, ao apresentar uma nítida disparidade na quantidade de elementos, e assim, clarear o significado da difusão.

Outros signos também foram utilizados para colaborar com a explicação, a figura “a” desenha um contorno nas moléculas de álcool para evidenciar seu destino, enquanto as outras figuras utilizam setas para frisar a direção do movimento.

Para finalizar a aula, apresentamos uma animação que expunha os movimentos das moléculas e os conceitos de difusão simples e facilitada. O vídeo facilita a visualização de uma enorme quantidade de substâncias simultaneamente e o movimento aleatório das moléculas, como exemplo, de moléculas de glicose que

se chocam com a membrana plasmática e a sua entrada na célula não ocorre (Linha 111). Um frame do vídeo se encontra abaixo na Figura 23.

Figura 23 – Frame do Vídeo de Transporte Celular



Fonte: Nucleus Medical Media, (2015)

5.2 Considerações da Aula 1

Essa aula foi a primeira parte de um processo de ensino-aprendizagem com produção, interpretação e refinamento intensivo de múltiplas representações. Ressalta-se que há uma característica da turma, até aqui, de interagir pouco coletivamente, embora tenha ocorrido engajamento em produzir e discutir as representações, pela baixa quantidade de perguntas diretas e dúvidas sobre o conteúdo. Aqui os dados nos revelam que o modo verbal falado não foi muito frequente, com poucas intervenções dos estudantes, embora o modo verbal escrito tenha frequentemente acompanhado os desenhos. O modo visual na forma dos desenhos produzidos foi bem aproveitado, com alto engajamento da turma para executar as atividades. Tal constatação vai ao encontro da afirmação que turmas e indivíduos têm seus modos preferenciais de expressão (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011) e que o docente deve oportunizar uma variedade de representações e

investigar as que melhor se adequam aos seus objetivos, não apenas em termos objetivos, das melhores formas de representação dos conteúdos, mas também considerar fatores subjetivos, como os meios de expressão que os aprendizes preferem.

Quanto aos processos de construção e modificação das representações, houve particular atenção sobre as regras de formação das representações semióticas das membranas plasmáticas, expressas pela posição das porções polares e apolares, e a constituição da bicamada lipídica. Ao solicitar operações de alterações nos desenhos, efetuamos tratamentos nos registros de representação, quando solicitada a adição de solutos e a indicação dos sentidos de sua movimentação, para dentro ou fora da célula. Aqui nos orientamos por Duval (1995), para que haja indicações explícitas nas regras de formação dos registros e de como eles podem ser modificados.

Por fim, foram manifestos os papéis de cada modo de representação, buscando, como indicado nas concepções da multimodalidade, demonstrar as contingências e potenciais de cada uma das representações, tanto canônicas quanto próprias, e não as tratar em binômios superficiais, como melhores ou piores, corretas ou incorretas (HAND; MCDERMOTT; PRAIN, 2016). Ainda afirmamos uma efetiva participação dos estudantes em produzir representações próprias, quando estimulamos um papel ativo dos estudantes em desenhar, interpretar e refinar seus desenhos (AINSWORTH; PRAIN; TYTLER, 2011).

5.3 Aula 2 – Osmose

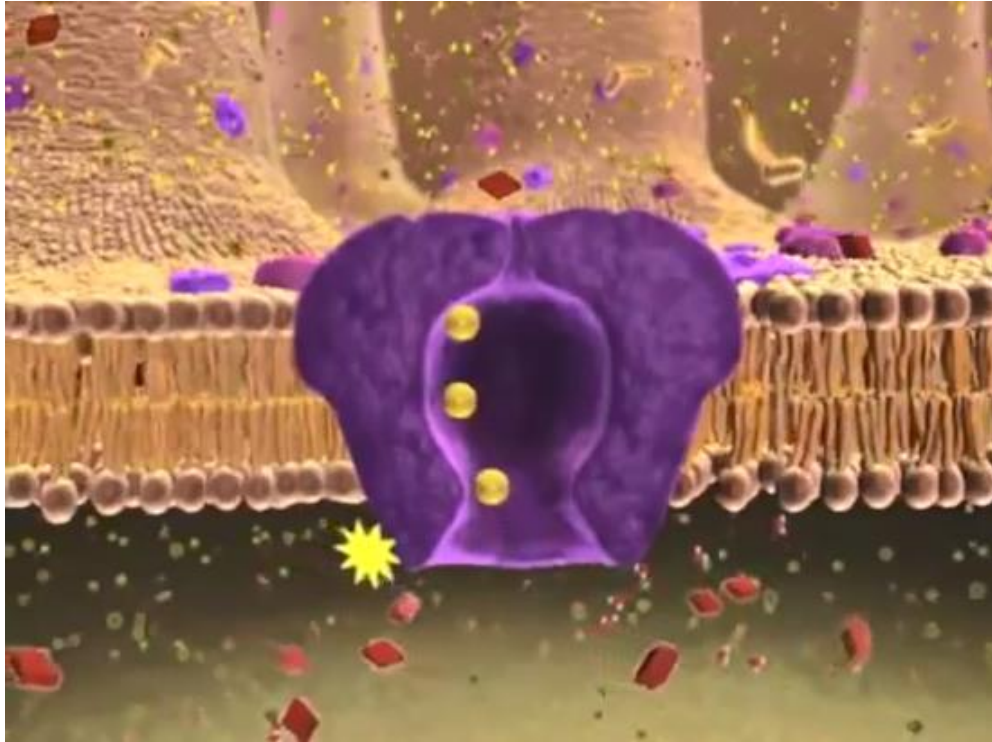
A transcrição dessa aula está incluída no Anexo B. Iniciou-se a aula de osmose com a recapitulação da estrutura da membrana plasmática e os modos como as moléculas a atravessam, por entre os fosfolipídios e por canais de membrana (Linha 1 a 11). Seguiu-se a apresentação de um tipo de transporte celular em que ocorria gasto de energia no processo, o transporte ativo. Nesse momento da aula, demarcamos que algumas moléculas podem ser transportadas para dentro e fora das células contra o gradiente de concentração, e assim, possuir quantidades que não correspondem aos processos de difusão ora apresentados (Linhas 12 a 30).

Desse momento da aula em diante discutimos quais seriam os tipos de moléculas que poderiam ter suas concentrações transportadas diretamente pela membrana plasmática. As moléculas pequenas e apolares, como o dióxido de carbono e oxigênio, difundem-se rapidamente pelas células a partir do meio em que suas concentrações são maiores (Linhas 31 a 36) e que somente moléculas que passassem por canais de membrana, que podem ser fechados, poderiam ter algum controle por transporte ativo (Linhas 37 a 54). Para frisar o conteúdo, indagou-se se o transporte ativo poderia ser feito com o oxigênio, ao que responderam “não” a essa pergunta (Linha 51).

Em sequência, uma animação sobre transporte ativo foi apresentada, em que uma proteína de membrana fazendo transporte ativo é projetada, mostrada na Figura 24. A animação integra elementos importantes como a mudança na conformação estrutural do canal de membrana, que permite a passagem da

molécula e do gasto de energia, representando por uma molécula brilhante de ATP (Linhas 57 e 58).

Figura 24 – Frame do Vídeo de Transporte Ativo



Fonte: Nucleus Medical Media (2015)

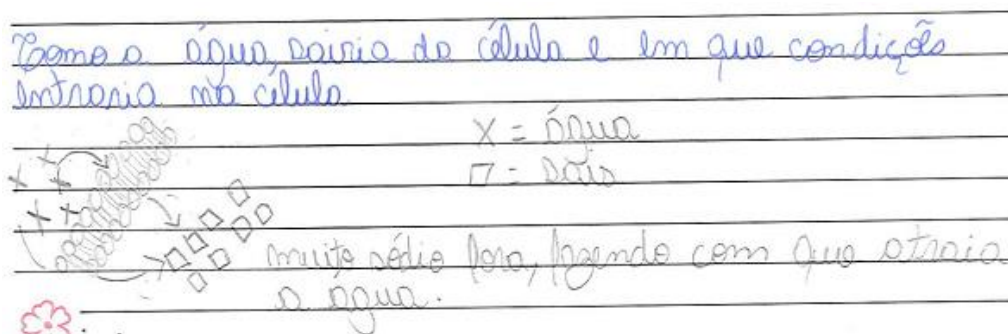
Debateu-se sobre o transporte da água e relembramos que a água é transportada por entre as moléculas de fosfolipídios e por canais de proteína, e mesmo assim, as células não podem fechar os canais, aumentando ou diminuindo a sua entrada. Abriu-se então o momento de debater a osmose, enquanto um tipo especial de transporte da célula. Frisou-se que a osmose só é válida para as moléculas de água (Linha 62) e que não poderíamos tentar aplicar os conceitos de osmose a outros solutos, como sal e glicose.

Nesse instante, perguntei aos alunos quais eram os tipos de moléculas que interagem com a água e foi descrita uma situação em que se coloca um pouco de água em uma porção de sal, afirmando que o sal fica “molhado”, ligado à água. Aqui foi reforçado que há um conjunto de substâncias polares que exercem uma atração

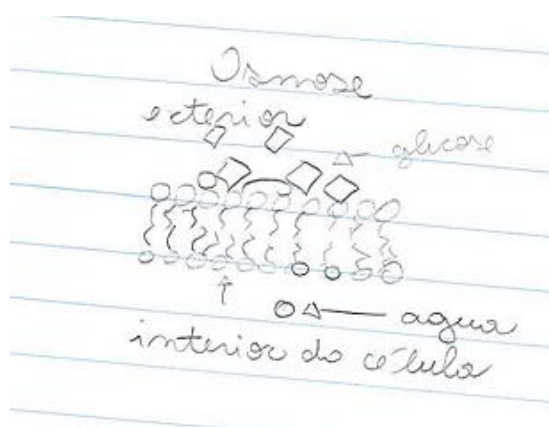
elétrica e química na molécula de água, como açúcares, proteínas, sais e ácidos (Linha 69), em contraposição às substâncias apolares como a gordura, e com confirmação verbal dos estudantes, que não atrairiam a água (Linhas 70 a 74).

Ademais iniciamos o desafio representacional da osmose ao solicitar aos estudantes que desenhassem uma membrana plasmática e as condições que a água entraria ou sairia da célula. Foi indagado se há algum local preferencial para a passagem de água, o que foi prontamente respondido com “não”, apontando que a água pode passar por toda a extensão da membrana plasmática (Linhas 75 a 82). Os desenhos produzidos pelos estudantes estão representados abaixo na Figura 25.

Figura 25 – Representações da Osmose



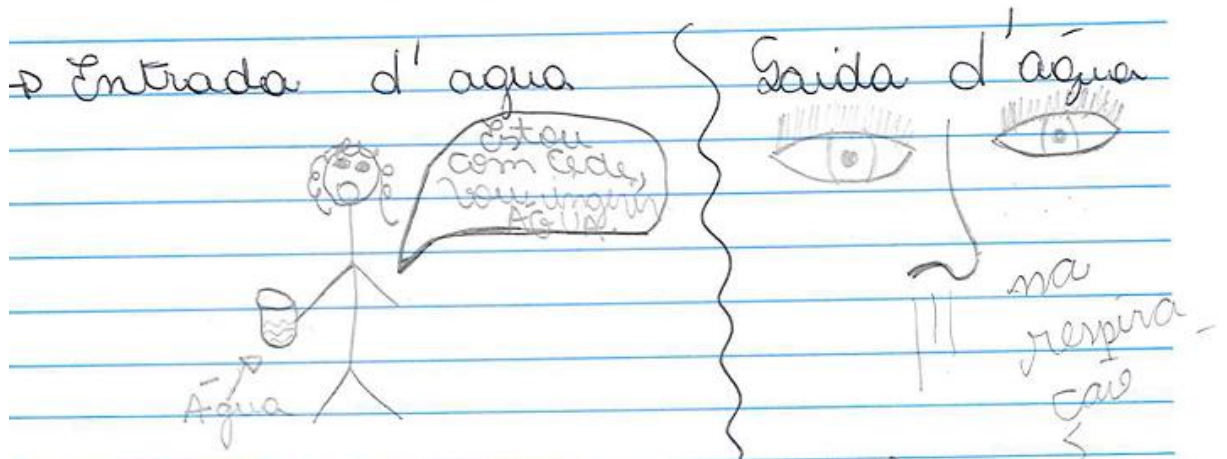
a)



b)



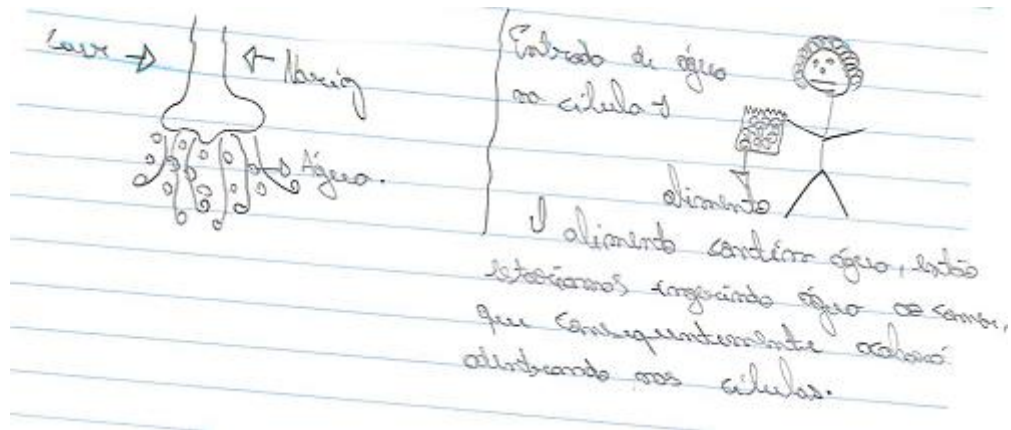
c)



d)



e)



f)

Fonte: Estudantes

A forma predominante dos desenhos foi a de construir membranas plasmáticas bidimensionais e expressar a diferença entre os meios hipertônico e hipotônico, com indicação de solutos que atraem a molécula de água, sendo os tipos mais comuns os de “a”, “b” e “e”. Os desenhos “c” “d” e “f” são únicos, reunidos aqui os estudantes que fizeram representações bem singulares do processo de osmose.

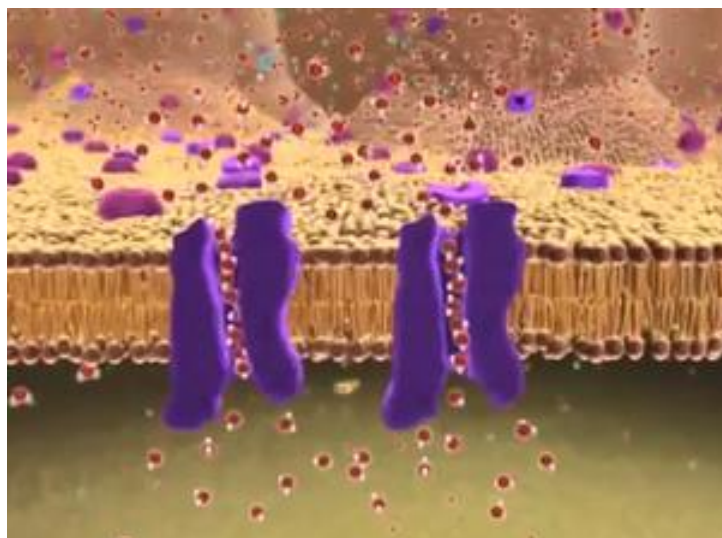
Os desenhos feitos produziram dois grandes resultados, os estudantes que pensaram a entrada e saída de água a partir da membrana plasmática nas imagens “a”, “b” e “e”, e os que representaram a entrada e saída de água do organismo como em “c”, “d” e “f”. Quando observamos esse segundo grupo de desenhos, tivemos uma surpresa, porque não esperávamos que o processo da osmose pudesse ser interpretado dessa forma. O dado é novo, não apareceu no modo verbal e foi expresso na forma de desenho. Em “b”, a entrada de água ocorre por ingestão de líquidos e a saída por transpiração. No desenho “d”, a entrada também é por ingestão e a saída acontece na respiração. Ainda em “f”, a saída também ocorre na expiração e indica-se que a água também é encontrada nos alimentos. Em conjunto, os três desenhos apresentam formas corretas do fluxo de água entre o organismo e o ambiente, embora seja notável apontar que nenhuma associação foi feita à urina,

processo em que considerável quantidade de água é perdida. Esses desenhos não foram vistos no transcorrer da aula e por isso não foram tecidos comentários.

As representações “a”, “b” e “e” pontuam os elementos necessários para a explicação da osmose: uma maior quantidade solutos polares em alguma porção da membrana plasmática. Há legendas indicativas de quais são essas substâncias e o movimento das moléculas de água são indicados. Embora as associações paradigmáticas sejam satisfatórias, ao pensar nos sintagmas da representação, ainda há poucas moléculas de água ao comparar os dois ambientes, o que não facilita o contraste da quantidade de água, embora existam setas nas figuras “a” e “b” e legenda na figura “e” que descrevem o movimento da água.

Ao terminar o tempo dos desenhos, foi projetada a animação em que se apresentava a osmose mostrando a passagem de água por toda a extensão da membrana, tanto por fosfolipídios quanto pelos canais de membrana. Em paralelo, foi acrescida a necessária diferença de concentrações de substâncias polares para que a água seja eletricamente atraída e a osmose ocorra (Linhas 85 e 86). O frame do vídeo é apresentado na Figura 26.

Figura 26 – Processo de Osmose



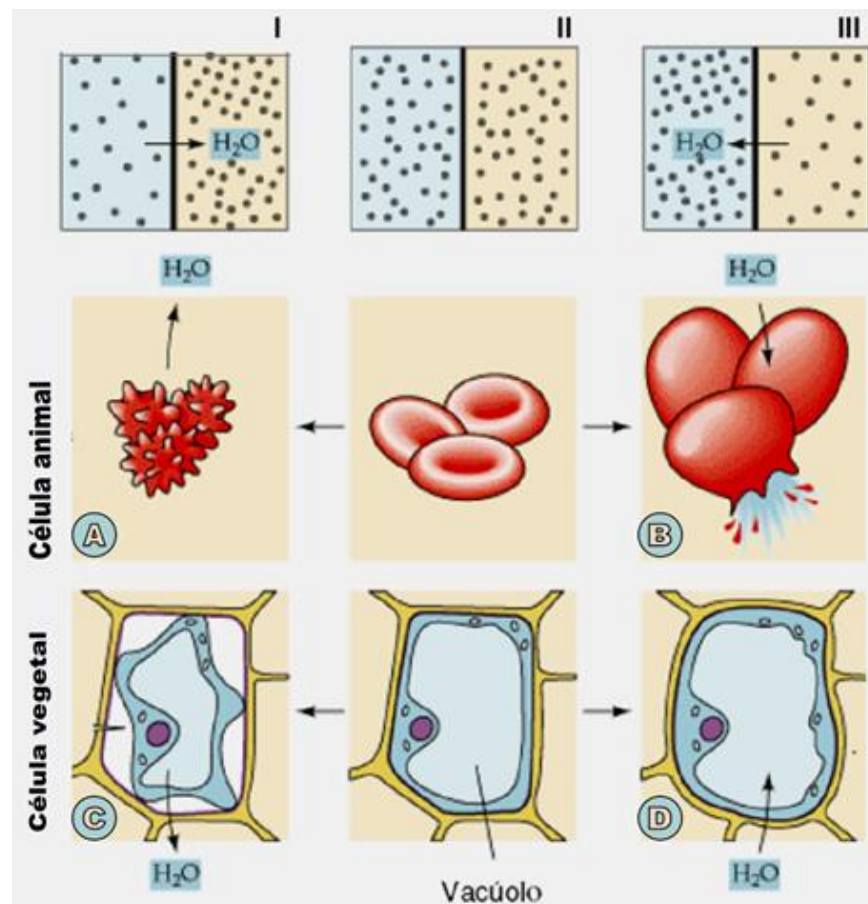
Fonte: Nucleus Medical Media (2015)

A partir da consolidação das primeiras representações dos estudantes e da exposição da animação, utilizamos como exemplos para situar a osmose o momento de temperar a salada e o aumento da pressão sanguínea ao consumir cloreto de sódio. Perguntas foram feitas do que ocorre com a salada ao ser temperada, que foi respondido pelos alunos com o “murchar” e “perder água” (Linhas 88 e 89). Outra situação apresentada é a alta concentração de sais na água do mar, em que caso esteja perdido em alto mar em uma canoa, o ser humano desidrataria caso bebesse água nessa concentração, por causa da osmose (Linhas 90 a 92).

Mais adiante, os conceitos de meios hipertônicos, hipotônicos e isotônicos são explorados, para que os estudantes percebam que as concentrações podem fazer com que os meios interior e exterior sejam diferentes, e assim, provocar o movimento da água para o meio hipertônico. Agora, foi solicitado um refinamento nas representações próprias, para que saibam indicar em seus desenhos quais são seus meios hipo e hipertônicos (Linhas 93 a 100). Nenhuma pergunta foi feita e os estudantes assentiram que compreenderam a diferença.

Um estudante indaga “se o isotônico seria o equilíbrio entre os dois”, em que o docente reforça que quando está nessa situação, a quantidade de água que entra e sai dos meios está equiparada, mas não estacionada. É importante dirimir dúvidas de que o movimento da água poderia “cessar”, quando em equilíbrio (Linhas 101 a 108). Por fim, a aula foi finalizada com uma nova representação canônica, em que células animais e vegetais em diferentes meios são apresentadas, comparando seus aspectos externos, conforme Figura 27. Pontuou-se que há diferenças na condição hipotônica, pois o influxo de água nas células animais provoca lise celular, caso que não ocorre nas células vegetais por causa de sua resistente parede celular (Linha 109).

Figura 27 – Osmose em Células Animais e Vegetais



Fonte: Amabis e Martho (2015)

5.4 Considerações da Aula 2

O conceito central da aula foi o de osmose, incluindo as representações adequadas do movimento da água e da diferença de concentrações entre os meios hipertônico e hipotônico. Além disso, os estudantes foram munidos de exemplos práticos em células vegetais (tempero da salada) e do corpo humano (aumento da pressão sanguínea, desidratação por ingestão de água marinha) para que o conceito fosse situado em situações de fácil acesso. Os estudantes construíram seus registros a partir das regras de formação da representação da membrana plasmática

e executaram tarefas de tratamento, ao alterar seus desenhos para que fosse adequadamente expresso o movimento da água pela membrana plasmática.

Ao considerar a cadeia de eixos associativos que foram desenhados a partir da pergunta do professor “como se dá a entrada e saída de água na célula?”, há de se considerar a relação paradigmática de “entrada e saída de água do corpo humano”, assim como representado na Figura 25 em três dos desenhos executados. Essas produções revelam uma ambiguidade o eixo associativo pode provocar ao nível do significado e gerar manifestações visuais inadequadas. Aqui, temos um reforço interessante do papel dos multimodos, e no modo particular, do desenho na representação dos conceitos, porque o conteúdo não foi manifestado no modo verbal. Nesse aspecto, seguiu-se uma baixa participação na linguagem verbal, embora continue com engajamento no modo de produção e imagens. Ainda no eixo associativo, fizemos uma operação de antagonismo quanto ao transporte ativo, fazendo com que visualmente se opusessem os fenômenos de transporte com e sem gasto de energia, quando contrapostos momentos da animação, como posto nos frames da Figura 24 e Figura 26 e o debate ocorrido entre as Linhas 46 e 54.

No eixo sintagmático, como apresentado na Figura 25, temos baixo contraste entre as concentrações internas e externas, mas que são compensados com signos, (setas) indicativos do sentido do movimento da água. Mais adiante, uma das propostas de experimento para produção de imagens, narração e análise de dados envolverá dados quantitativos sobre a osmose em ovos. Dessa forma, espera-se que o contraste fique acentuado ao dispor de números para representar as massas distintas. Ainda no eixo sintagmático, houve uma falta de detalhamento em explicar a passagem da água por toda a membrana plasmática, o que deveria incluir as aquaporinas, proteínas de membrana especializadas na condução de água, sem

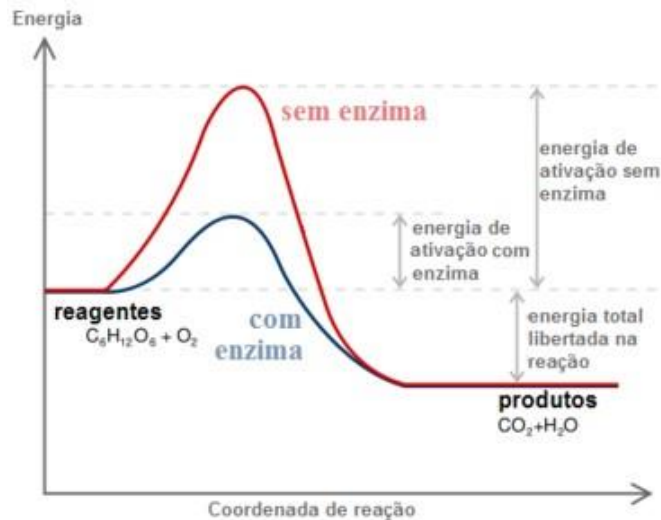
gasto de energia. Embora a Figura 26, que expressa um frame da animação, demonstre a passagem por entre os fosfolipídios e pelos canais de membrana, uma intervenção do docente deveria ocorrer para que os estudantes refinassem suas representações em seus desenhos da Figura 25 e incluíssem os canais.

5.5 Aula 3 – Atividade Enzimática

Iniciaremos a análise da aula 3, sobre atividade enzimática. A transcrição dessa aula se encontra no Anexo C. A aula teve como objetivo a apropriação de conceitos sobre as enzimas, suas funções, propriedades e fatores que interferem em seu funcionamento.

A aula foi iniciada com a conceituação do que eram as enzimas, com a descrição de seu papel em reduzir a energia de ativação das reações químicas. Exemplos foram dados a respeito da combustão e degradação de lactose, assunto que foi discutido em uma aula anterior (Linhas 1 a 3). Um gráfico como a Figura 28 foi desenhado no quadro e se apresentou a diferença de uma reação com ou sem enzimas, reforçando que embora os produtos sejam os mesmos, a energia de ativação apresentada no eixo Y é maior sem a presença da atividade enzimática.

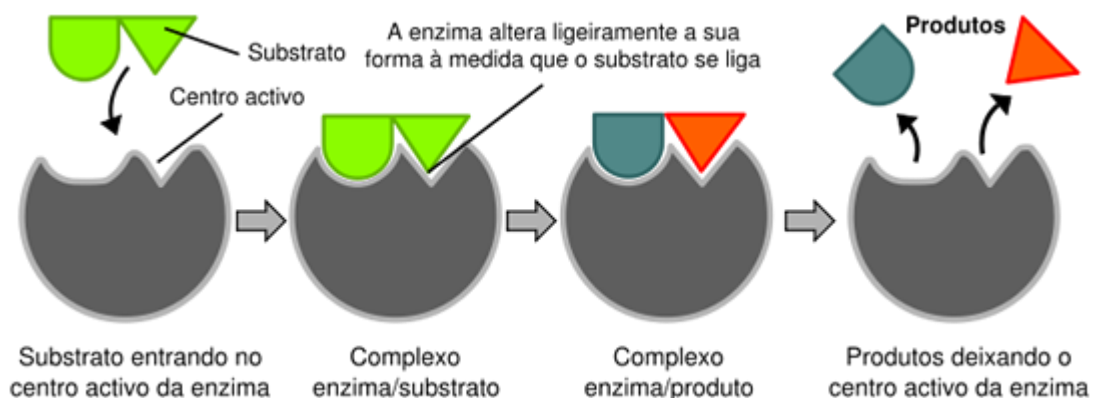
Figura 28 – Gráfico da ação das enzimas na energia de ativação das reações



Fonte: Virtuous Tecnologia da Informação, (2008)

Até esse momento não ocorreram questionamentos dos estudantes e a aula continuou para a representação canônica do processo de ligação entre a enzima e o substrato, a Figura 29 foi projetada. Ao mesmo tempo, os conceitos de substrato e de que as enzimas podem ser novamente utilizadas em outra reação química foram apresentados (Linha 4). Um exemplo de substrato, a lactose, foi dado para ilustrar a imagem representada. A lactose foi utilizada porque essa aula integra uma sequência do conteúdo de carboidratos em que discutimos a forma em que os glicídios se apresentam, no caso, como um dissacarídeo.

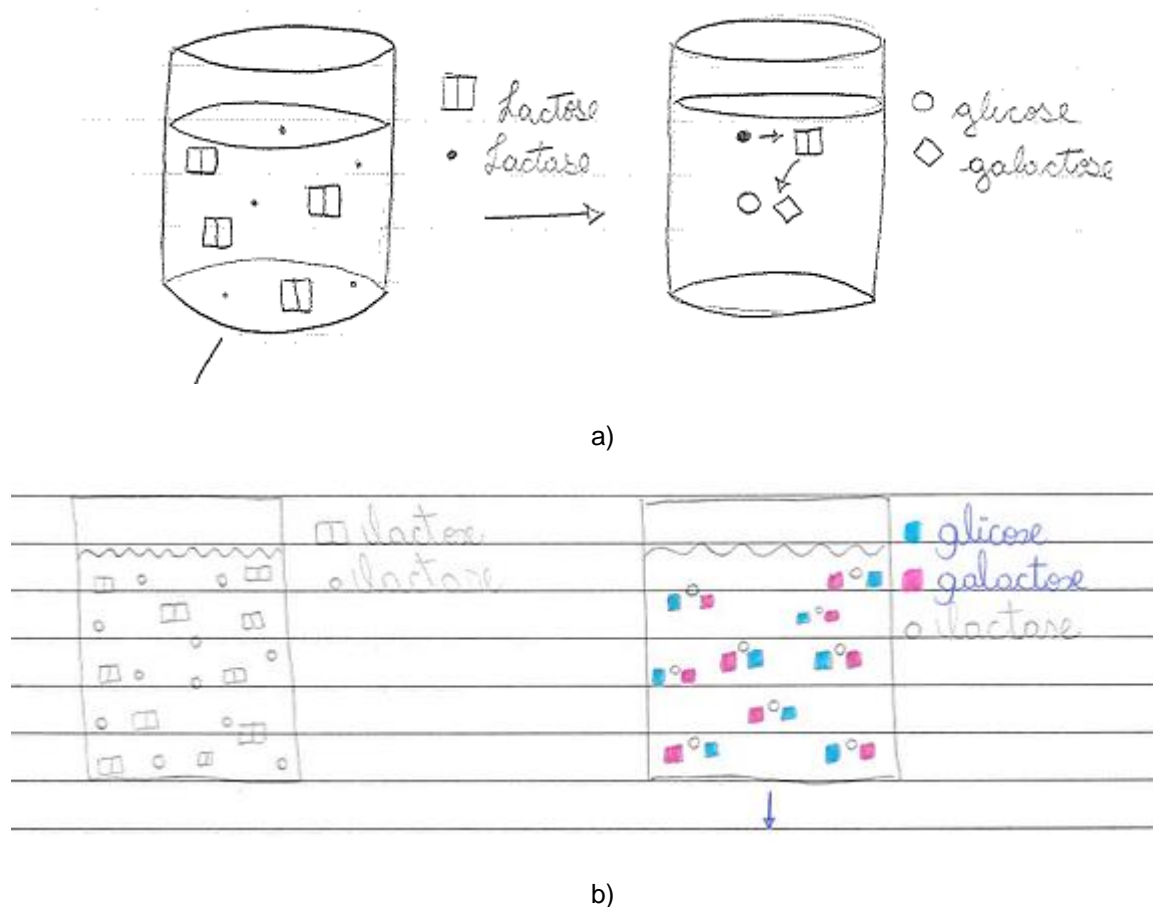
Figura 29 – Complexo Enzima e Substrato

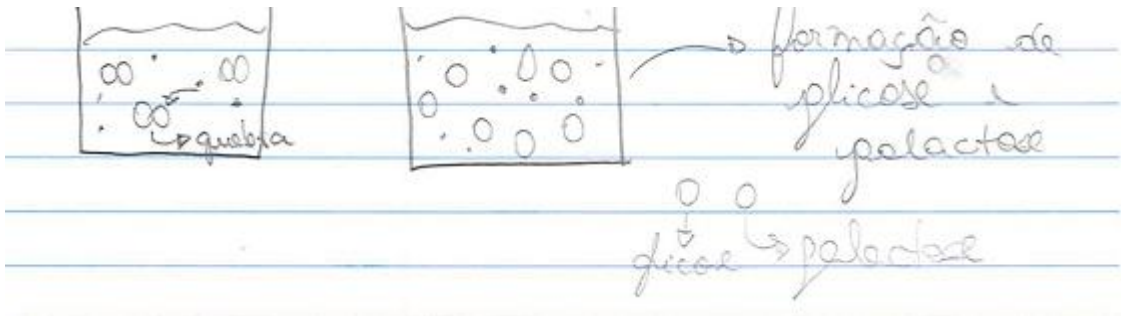


Fonte: Virtuous Tecnologia da Informação, (2008)

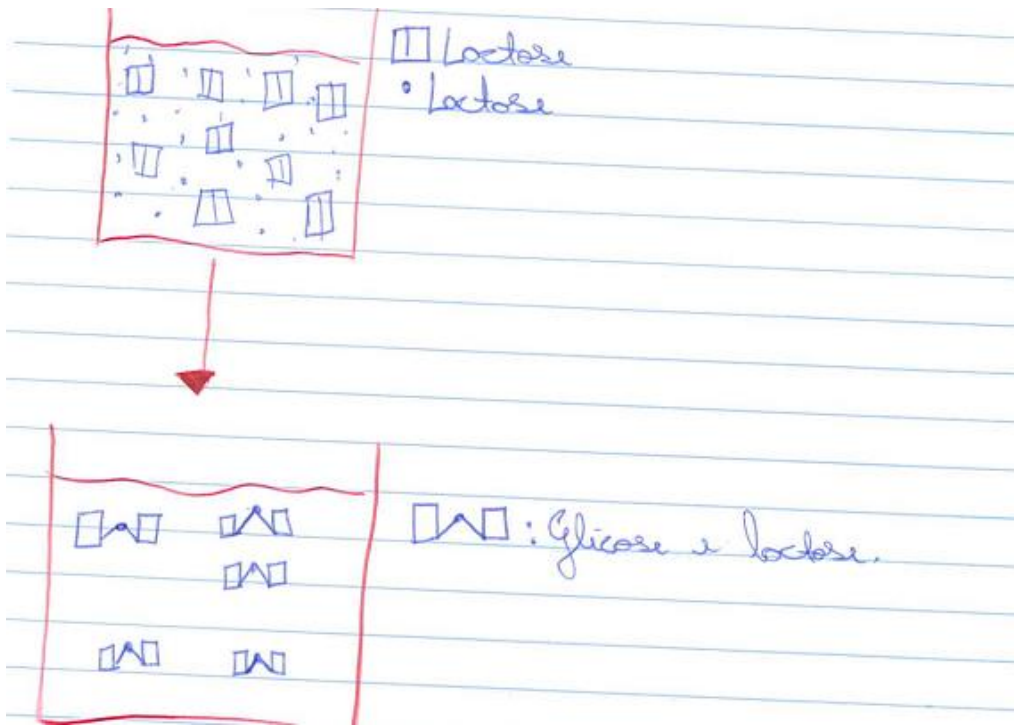
Logo depois, propusemos o primeiro desafio representacional sobre o tema. Os estudantes foram instruídos a construir um recipiente com lactoses (expressas por duas subunidades) e a enzima lactase (Linha 6). A solicitação envolveu a exposição de dois instantes, um em que a lactose não está degradada e outra em que o processo já tenha se iniciado. Perguntas foram realizadas no sentido de reforçar qual seriam os produtos da reação, em que a resposta foi “dois açúcares” e “glicose e galactose” (Linha 9 a 14). Os desenhos gerados estão na Figura 30.

Figura 30 – Desenhos de Atividade Enzimática

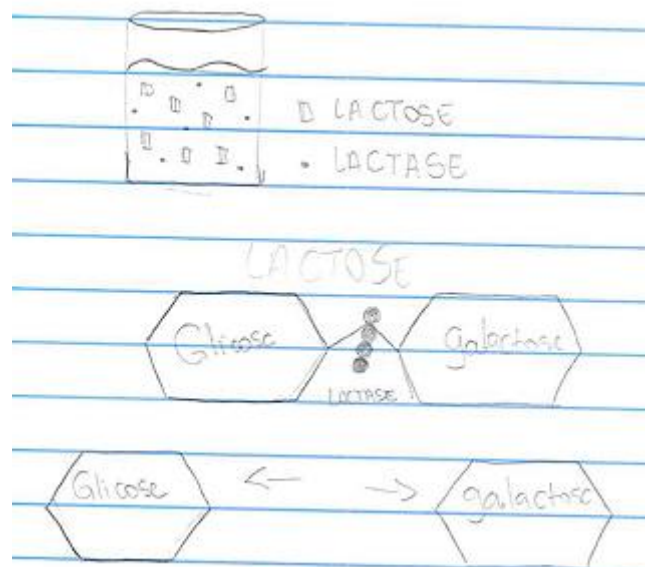




c)



d)



e)

Fonte: Estudantes

Os tipos mais comuns de desenhos da turma foram semelhantes ao “a” e “b”, com o desenho da divisão de subunidades do carboidrato, depois da interação com a enzima, e, diferenciando o produto como açúcares diferentes, com cores e símbolos distintos para expressar a glicose e a galactose.

As imagens produzidas foram semelhantes, com alguns destaques dos que aparecem elementos mais novos. Todas as representações indicaram graficamente uma distinção entre a enzima lactase, o substrato inicial de lactose e o produto dos monossacarídeos glicose e galactose. A figura “a” representa adequadamente o processo, executando uma associação correta com o processo e os elementos centrais. A seta indica o movimento da molécula de lactase, quando o que ocorre posteriormente com a reação, a representação da enzima se mantém idêntica, enquanto os produtos da degradação da lactose se alteram. Em uma análise sintagmática, apenas uma enzima e um produto do segundo recipiente foram desenhados, desaparecendo a maior abundância de moléculas do primeiro sem que haja explicação de tal fato. A figura “b” associa com uma legenda corretamente o processo, mas a disposição muito organizada de todas as moléculas do segundo recipiente faz perder a dimensão aleatória de seus movimentos. A figura “c” associa uma analogia comum ao processo de degradação, anota o verbo “quebrar”, os produtos são representados no segundo recipiente e as moléculas estão dispostas sem nenhuma organização.

A figura “d” tem uma manifestação incorreta do conceito a partir do desenho, o segundo recipiente mantém a ligação da enzima com os produtos da degradação da lactose, as moléculas também aparecem organizadas, a sua representação indica que o produto não se separa, embora a legenda indique o contrário. Por fim, a

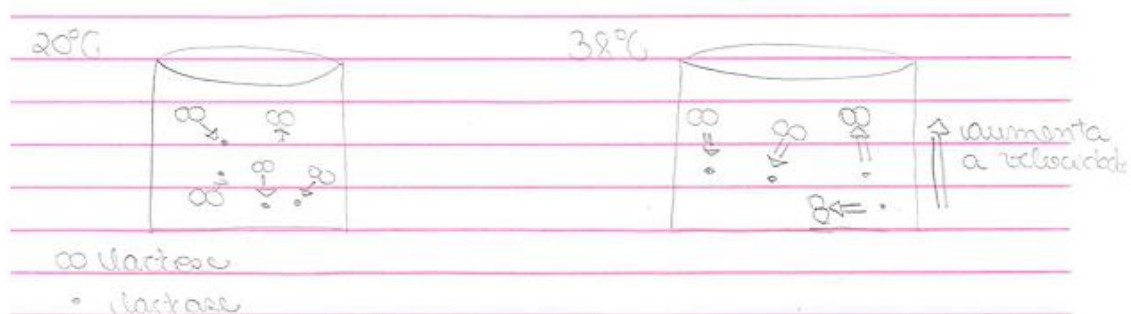
figura “e” expressou em duas escalas o processo de degradação, uma no recipiente e outra individualizando a enzima e o dissacarídeo. Pelo eixo associativo, combinou seus conhecimentos da fórmula estrutural dos açúcares e desenhou as duas hexoses, sendo rompidas pela enzima exatamente em sua ligação glicosídica. As setas ao final do processo somam com a exibição da separação dos monossacarídeos. Embora as enzimas não sejam tão pequenas em relação aos açúcares, aqui há outra cadeia paradigmática expressa, de que a posição de interferência das enzimas se dá sítios específicos do substrato.

Para findar o momento de criação dos desenhos, os conceitos centrais foram reforçados pelo professor, de que a enzima lactase degrada a lactose e que dois açúcares são formados no processo (Linhas 20 a 22). Logo após, foi iniciado a proposta do segundo desafio representacional, agora com interferências que a atividade enzimática sofre por causa da temperatura. Foi solicitado que desenhassem novamente dois recipientes: um deles estaria em 20 °C e o outro em 38 °C.

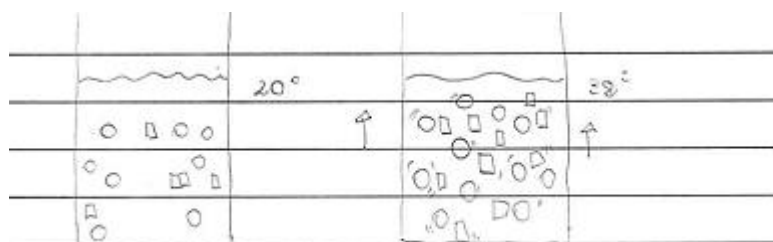
Nesse instante, uma aluna afirma que as moléculas vão ficar mais agitadas (Linha 24), o professor replica qual seria a consequência delas ficarem mais agitadas e uma aluna responde na forma de indagação “Elas se encontrariam mais rápido?”. Com a assertiva do professor, um terceiro aluno questiona que não entendeu o que foi exposto (Linhas 25 a 28). O docente iniciou a explanação sobre as implicações biológicas desse fenômeno, em que moléculas mais agitadas aumentam a probabilidade das enzimas encontrarem seus substratos e o metabolismo geral aumenta. Exemplos foram dados para situar os estudantes, como ação dos decompositores em alimentos da geladeira, a comparação entre animais homeotérmicos, como mamíferos e aves, e pecilotérmicos, como anfíbios e répteis.

(Linhas 29 e 30). Findada a explicação, o desafio representacional foi repetido, como representar as moléculas de um modo mais agitado? Os resultados estão na Figura 31.

Figura 31 – Aumento da Atividade Enzimática



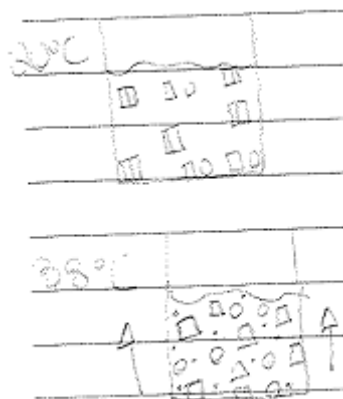
a)



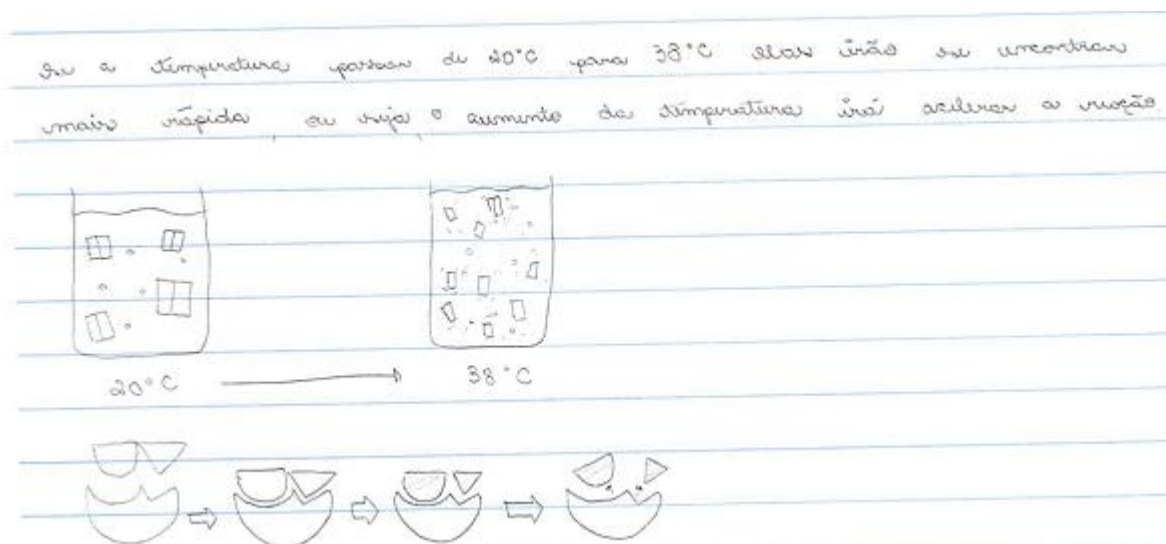
b)



c)



d)



e)

Fonte: Estudantes

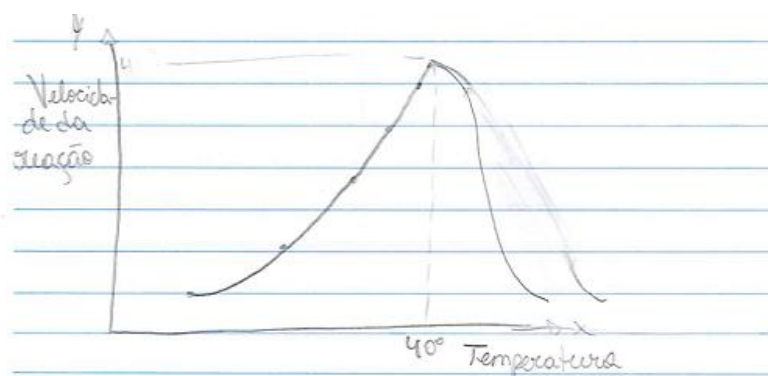
Todas as representações apresentaram de forma satisfatória um aumento da cinética enzimática, da velocidade da reação catalisada pelas enzimas. A figura “a” expressou um aumento das setas, no primeiro recipiente há apenas uma linha, enquanto no segundo uma seta dupla, significando maior ênfase no movimento foi adicionada. A imagem “b” não utilizou elementos associativos ou legendas para representar o maior movimento, apenas apresentou o resultado da maior velocidade com a formação dos produtos da ação enzimática. No primeiro recipiente ainda aparecem dissacarídeos, enquanto no segundo recipiente todos já estão

degradados. A figura “c” apresenta de uma dupla forma a maior atividade enzimática, há linhas que indicam um rastro de maior movimentação das moléculas e não há dissacarídeos no segundo recipiente, todos já foram degradados. Raciocínio idêntico ocorreu na figura “d”, mas com um apoio de setas para indicar maior velocidade da reação. Por fim, a figura “e” apresentou dois recipientes, a temperatura mais baixa só com a lactose e o segundo recipiente com a lactose inteiramente degradada.

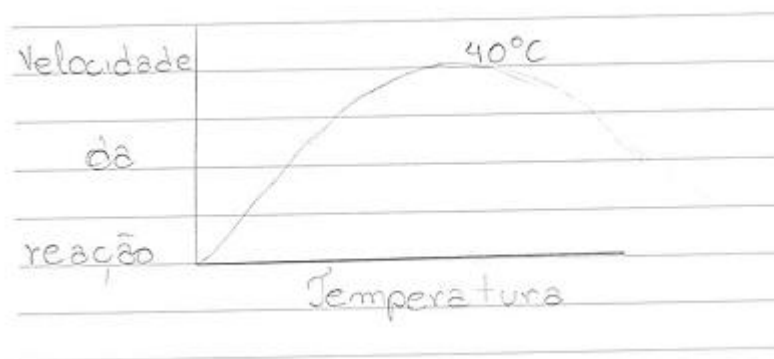
Há uma legenda acima dos desenhos que explica o processo e há uma cópia fiel da representação canônica do processo de degradação do substrato. Como não há legenda do desenho de baixo, não há uma associação direta com os códigos de substrato de lactose (dois retângulos unidos) e da enzima (um pequeno ponto). O conjunto das representações executaram um tratamento da imagem prévia, adicionando elementos paradigmáticos (setas, linhas, texto) e sintagmáticos (disposição contrastante de dissacarídeos no primeiro recipiente e monossacarídeos no segundo).

Quando finalizado esse segundo momento de intervenção nos desenhos, o docente inseriu o conceito de atividade máxima da enzima, que irá ocorrer em torno de 40°C. Asseverou-se que daí por diante, ocorre uma desnaturação das enzimas e elas passam por um processo de declínio de sua atividade, até perder completamente as suas funções (Linhas 33 e 34). Nesse instante, o último desafio representacional foi sugerido, para que convertessem em um gráfico as informações de atividade enzimática e velocidade. O docente apresentou que no Eixo X deveria conter a temperatura e no Eixo Y a velocidade da atividade enzimática. Os gráficos produzidos estão na Figura 32.

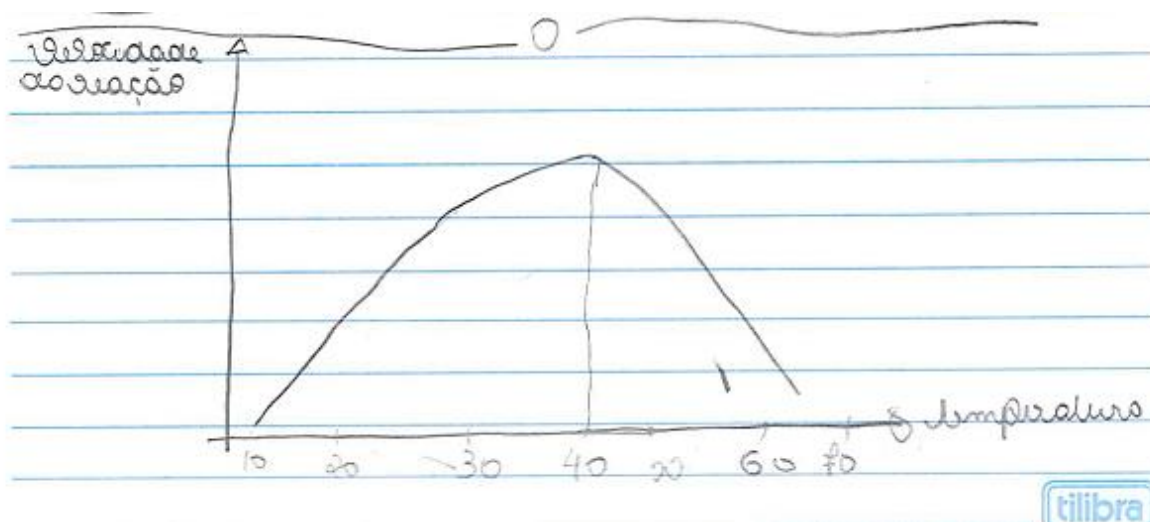
Figura 32 – Gráficos da Atividade Enzimática



a)



b)



c)

Fonte: Estudantes

Apresentamos aqui apenas três gráficos porque os resultados foram bem semelhantes. As figuras “a”, “b” e “c” apresentaram um aumento da atividade

enzimática até próximo de 40° C e depois a queda se inicia. A queda na atividade enzimática poderia ser apresentada de modo mais acentuado e não tão suave. A figura “c” dá a entender que em 50° C ou em 30° C as velocidades seriam próximas. Um dos estudantes pede ajuda para montar o gráfico e o professor o instrui em como fazer os eixos e representar a queda (Linhas 52 a 57). Por fim, o docente reforça o fato de que as enzimas são desnaturadas, destruídas, perdem a sua função e esse é o motivo do porquê as altas temperaturas destroem nossas células; nossas proteínas são desnaturadas. Para finalizar a aula, ratifica-se que a queda na atividade enzimática precisa ser acentuada depois dos 40°C (Linha 58).

5.6 Considerações da Aula 3

Os desafios representacionais dessa aula uniram diretamente as três operações da semiósis de Duval (1995): 1) a formação dos registros (regras para fazer o gráfico, as enzimas, os substratos, suas ligações e degradação da ligação), 2) o tratamento (modificações entre os recipientes na Figura 30 e na Figura 31) e 3) uma atividade de conversão dos registros de representação, em que uma tarefa foi designada em transpor diretamente os dados dos desenhos próprios dos estudantes para um gráfico.

Nesse ponto, integramos as tarefas propostas pela multimodalidade nos temas de produção, avaliação e refinamento das representações (HAND; MCDERMOTT; PRAIN, 2016; PRAIN; TYTLER, 2013), além de focar nas representações próprias dos estudantes, com um estímulo ao desenho, antes de apenas executar tarefas de interpretação das representações canônicas (AINSWORTH; PRAIN; TYTLER, 2011).

Dentro do eixo paradigmático, foi possível o professor conectar várias cadeias externas por meio do significado do aumento da atividade enzimática, desde alimentos preservados em baixas temperaturas até as implicações no comportamento de animais em decorrência da homeotermia ou pecilotermia. Em associações aos desenhos, os estudantes designaram o aumento da movimentação das moléculas por meio de símbolos, como linhas, setas e com suporte de legendas das temperaturas. No eixo extensivo, depois do processo de degradação da lactose, algumas representações não demonstraram que as moléculas se espalhavam de forma aleatória e mantinham os produtos lado a lado distribuídos pelo recipiente. Esse fato é importante para frisar que o encontro da enzima com o substrato é probabilístico, aumentando em frequência conforme a temperatura aumenta, e da mesma forma, as moléculas se dispersam depois do fim da reação.

Essa aula também servirá de base teórica para uma das propostas de experimento, que envolve a degradação do colágeno por uma enzima do abacaxi. Passaremos agora para a discussão dos vídeos produzidos que narram as experiências que foram designadas aos estudantes.

5.7 Comentários gerais

O conjunto de atividades intentou ambientar os estudantes aos signos científicos de Biologia Celular. A multimodalidade versa que as disciplinas científicas precisam ser compreendidas enquanto a história de seu desenvolvimento com a integração dos discursos (WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006). Simultaneamente, queremos que os *meaning-makers*, os fazedores de sentido, possam executar ações para que aprendam ciência, que envolvem saber ler e manejar os seus códigos

(LEMKE, 1990). Em outras palavras, gostaríamos de acostumá-los a produzir, interpretar e refinar as suas próprias representações, para que aprendam a compreender suas contingências e potencialidades, assim como se apropriarem de que todo registro de representação possui seus limites.

A concepção da multimodalidade, de que o conteúdo científico está disperso em uma variedade de multimodos de representação (PRAIN; TYTLER, 2013; WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006) nos guiou em propor tarefas de desenhos, associação de legendas às imagens, gráficos, interpretação de imagens estáticas, e animações, interpretação das fotos de microscopia, associações entre tamanhos de moléculas e processos biológicos. As atividades foram alternadas em reconhecer e interpretar representações canônicas e produzir, interpretar e refinar as suas próprias, alternativas, mas mesmo assim, muito relevantes para a aprendizagem científica (GILBERT, 2013). Portanto, as tarefas solicitadas foram prévias essenciais para a condução da próxima parte do trabalho: a condução, filmagem, narração e representação de um experimento com osmose e atividade enzimática.

RESULTADOS E ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS FILMADOS

6.1 Análise do Grupo 1 – Atividade Enzimática

O vídeo é iniciado com o seguinte texto:

“Narradora: Para explicar como funcionam os aminoácidos e as proteínas, nós realizamos um experimento que demonstre isso, um experimento muito simples. Foi cortado um abacaxi no meio e descascado, depois disso foi cortado em cubos e reservado em um recipiente. 50% desse nosso abacaxi e colocamos numa panela e deixamos cozinhar até que fervesse”.

Em paralelo à narração, são mostradas as filmagens da preparação do experimento, como o frame da Figura 33, em que o abacaxi é cortado e parte dele é cozida, enquanto o resto será utilizado cru. Cabe ressaltar que o texto inicial não apresenta que o experimento é sobre atividade enzimática, embora também trate de aminoácidos e proteínas. A descrição poderia ser mais específica, pois o conceito de aminoácidos e proteínas não é explicado neste experimento.

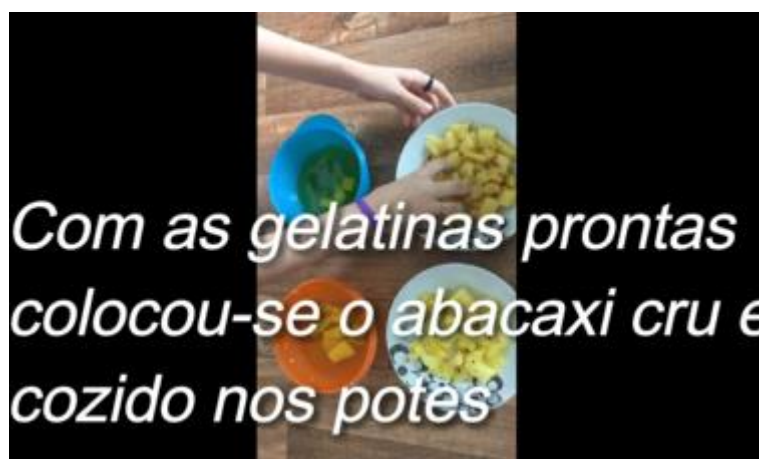
Figura 33 – Preparo do Abacaxi



Fonte: Estudantes do Grupo 1

Após esse momento, o vídeo continua com a montagem final do experimento, quando foi colocado o abacaxi em cada uma das gelatinas recém-saídas do fogo, como posto no frame abaixo, na Figura 34.

Figura 34 – Preparo das gelatinas



Fonte: Estudantes do Grupo 1

As duas gelatinas são retiradas da geladeira e a narradora as compara (Figura 35) mexendo com a colher e atestando a diferença de consistência. Uma gelatina está com a consistência comum e a outra continua líquida. Segue a descrição da narradora e frames das imagens:

Narradora: Nós podemos observar que a gelatina do recipiente azul, na qual está com o abacaxi cozido. A gelatina endureceu e na qual foi posto o abacaxi sem ser cozido não endureceu.

Figura 35 – Comparação entre as gelatinas



Fonte: Estudantes do Grupo 1

Esse experimento provoca dois resultados bastante contrastantes, no primeiro frame observamos a consistência da gelatina quando a colher a movimentamos, enquanto no segundo frame a gelatina mantém-se líquida. Apresentado o início e o desenvolvimento do experimento, a partir desse momento o vídeo inicia as explicações do ocorrido.

O grupo utiliza uma série de imagens de apoio em conjunto com a narração do vídeo, executando uma associação direta com os termos técnicos que utilizam. O trecho a seguir inicia a explicação do experimento:

Narradora: Isso acontece porque a gelatina ou colágeno é encontrada em tendões, ossos e até em vasos sanguíneos, a gelatina ela é uma proteína, ou seja, as suas moléculas são de cadeias longas e formadas por aminoácidos conectados entre eles mesmos, é importante para manter a estrutura de vários tecidos.

Nesse trecho, uma série de imagens é utilizada para ilustrar os conceitos, simultaneamente aos termos “tendões”, “ossos” e “vasos sanguíneos”, apresentados

na Figura 36. A narração usa como suporte três imagens que representam uma mão e seus tendões, um esqueleto humano e os vasos sanguíneos do coração. Cabe notar que, embora as gelatinas sejam feitas de bovinos, o grupo ressaltou a constituição de porções do organismo humano para comparar com o constituinte da gelatina. Dessa forma, cria uma aproximação do colágeno com exemplos mais próximos dos ouvintes.

Figura 36 – Frames do Vídeo



Fonte: Estudantes do Grupo 1

A continuação do vídeo comenta sobre as “moléculas de cadeia longa” que compõem as proteínas. Nesse momento, a imagem da Figura 37 foi apresentada:

Figura 37 – Molécula de Cadeia Longa

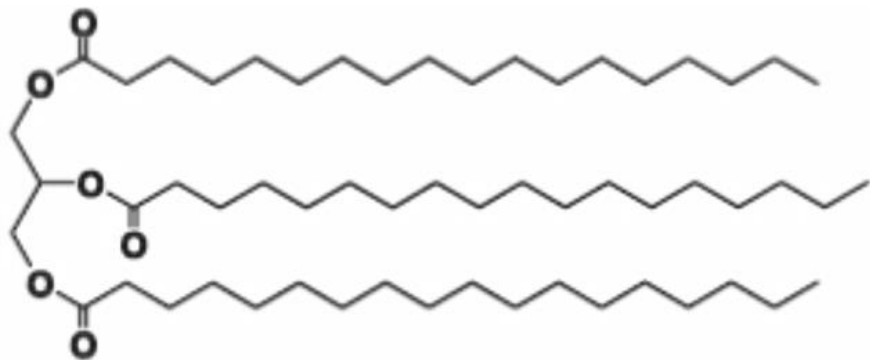


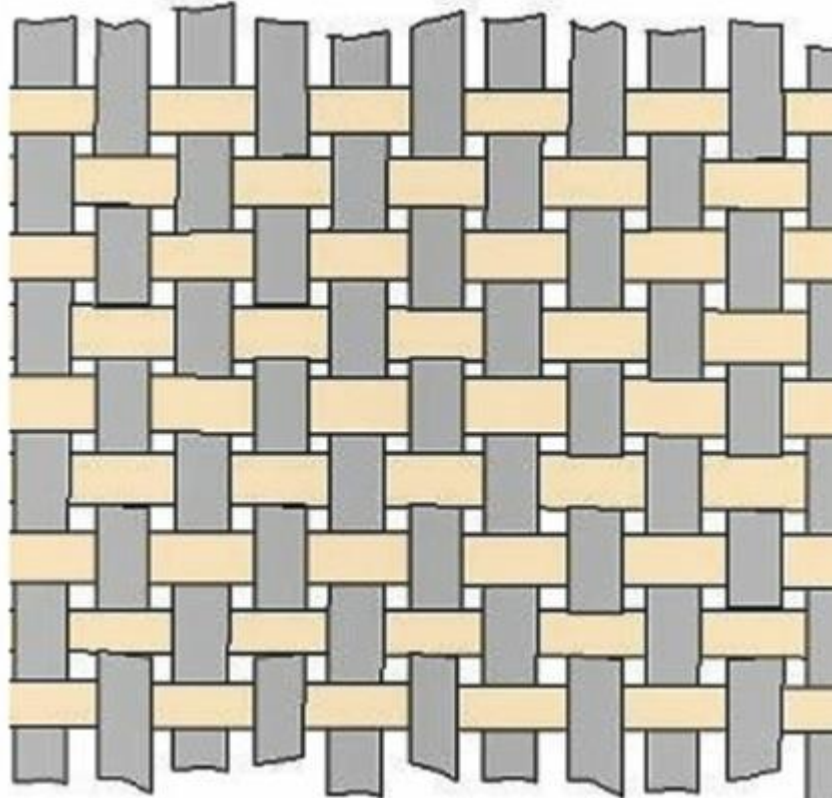
Figura 14. Molécula do éster do ácido esteárico e glicerol

Fonte: Estudantes do Grupo 1

O exemplo apresentado é de um triglicerídeo, não de uma proteína. O termo “cadeia longa” pode ser associado a uma série de compostos orgânicos, desde

carboidratos, lipídios e proteínas, sendo necessário um maior cuidado para fazer o discernimento. Ao final dessa explicação, a narração cita uma função das proteínas que é a de “manter a estrutura de vários tecidos” e é apresentada a seguinte imagem (Figura 38).

Figura 38 – Analogia de Tecido



Fonte: Estudantes do Grupo 1

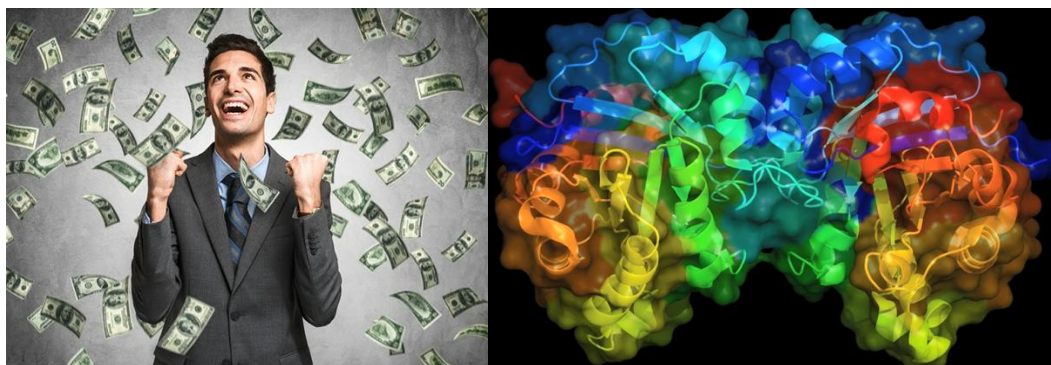
Aqui, uma analogia entre o “tecido humano” e o “tecido de roupa” é feita, associando o entrelaçamento das fibras e a manutenção de sua coesão. O processo de analogia compartilha aspectos do análogo com o domínio-alvo, as fibras proteicas são representadas como moléculas longas, finas e enroladas entre si, com muitas repetições de suas unidades, algo semelhante ao tecido apresentado.

A narração do vídeo continua, com a explicação do que ocorreu com o experimento:

E nessa nossa experiência a gelatina amoleceu, porque o abacaxi tem outra proteína, mas que tem uma função diferente, porque ela consegue destruir outras proteínas, o abacaxi ele é rico em bromélica, uma enzima que é capaz de quebrar as ligações de aminoácidos que unem as gelatinas e que faz com que ela perca essa capacidade de endurecer.

Esse trecho introduz as enzimas enquanto uma classe especial das proteínas inserindo um novo elemento sintagmático, pois altera a definição anterior das proteínas enquanto formadoras de tecidos. A enzima do abacaxi é nomeada incorretamente como bromélica, um nome comum de uma das representantes de uma família de plantas. A seguir, apresenta uma propriedade dessa enzima do abacaxi, que é a de “quebrar” as ligações dos aminoácidos das gelatinas e modificar qualitativamente as suas propriedades. Para reforçar essa explicação, duas imagens são utilizadas, mostradas na Figura 39.

Figura 39 – Apresentação da bromelina



Fonte: Estudantes do Grupo 1

A primeira imagem de uma pessoa com muitos dólares serve de apoio para o adjetivo “rico”, enquanto a molécula apresentada, uma proteína de estrutura terciária, ilustra uma enzima. Ademais, a narração do vídeo começa a construir uma série de analogias verbais que são acompanhadas por analogias visuais, para que o fenômeno da degradação dos aminoácidos seja explicado. Eis o trecho do vídeo:

“Os aminoácidos, eles são, por exemplo, como tijolos de uma parede, eles são unidos um a um até que eles tenham estabilidade. Eles ficam se unindo, se você quebra essa parede, você separa os tijolos um do outro, é o que acontece com as proteínas, elas usam seus blocos para formar uma molécula grande que tem várias funções importantes no nosso organismo, mas se você quebra a proteína, você fica com os seus blocos separados, os aminoácidos, mas o interessante é que seu corpo consegue usar esses blocos para formar novas proteínas.”

A narração é acompanhada por essa sequência de imagens da Figura 40:

Figura 40 – Analogias Visuais

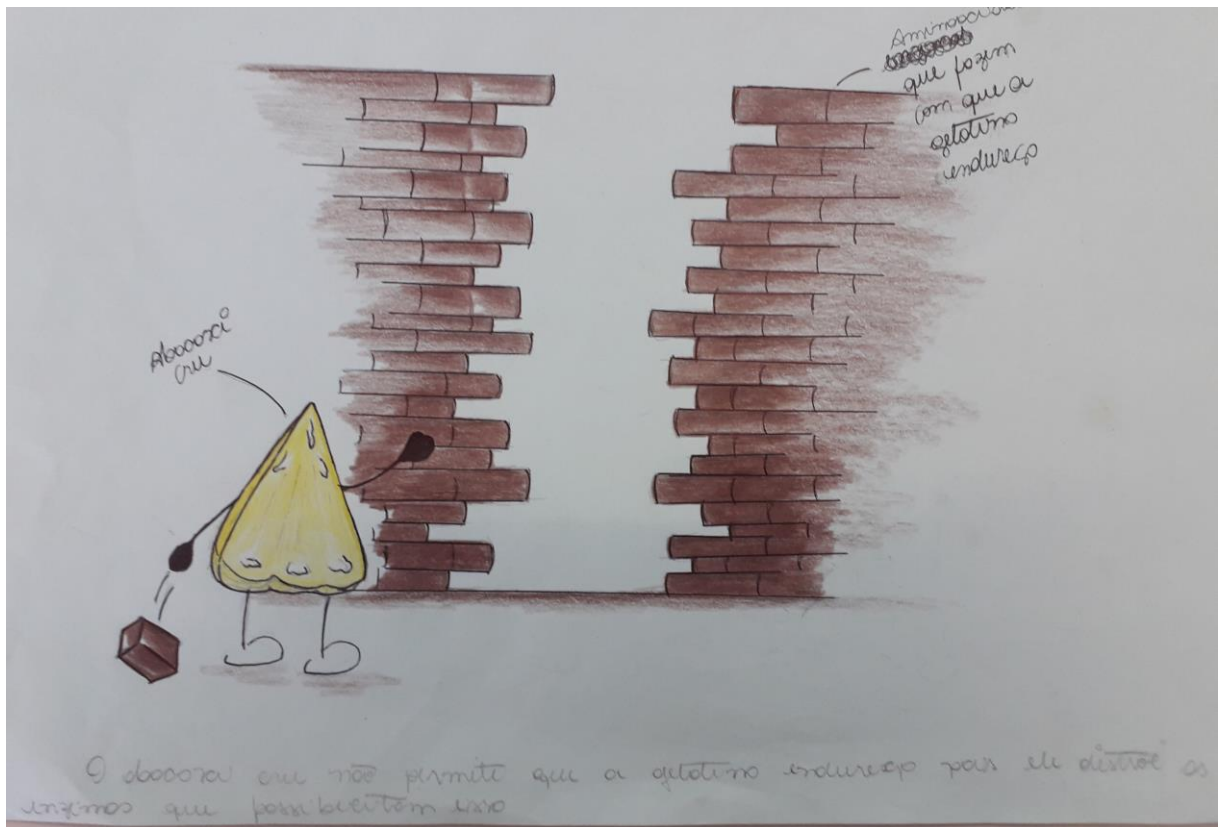


Fonte: Estudantes do Grupo 1

A primeira analogia representa a construção da cadeia de aminoácidos, serve como analogia para o processo de *síntese de nossas proteínas*, a segunda imagem é a de um muro construído, em que se representam as unidades do muro, seus “tijolos”, enquanto aminoácidos que mantêm uma estrutura rígida e constante. A terceira imagem mostra uma bola de demolição destruindo os tijolos, uma analogia da atividade enzimática ao separar a ligação dos aminoácidos. A narração do vídeo termina com a explicação de que podemos utilizar esses blocos para formar novas proteínas, indicando a capacidade dos organismos vivos em fabricar novas proteínas a partir de subunidades, “blocos” ou aminoácidos, anteriormente degradados.

Terminada a apresentação do vídeo, foi mostrada para a turma a analogia visual do experimento, contida na Figura 41 a seguir.

Figura 41 – Analogia do Grupo 1



Fonte: Estudantes do Grupo 1

No topo da analogia, temos a indicação “Aminoácidos que fazem com que a gelatina endureça”, logo abaixo, temos a inscrição “abacaxi cru”, com uma figura antropomorfizada destruindo uma parede de tijolos. Na parte inferior, temos a seguinte explicação: “o abacaxi cru não permite que a gelatina endureça, pois ele destrói as enzimas que possibilitam isso”.

Nesse momento, iniciamos a discussão sobre a apresentação do vídeo e da analogia. A transcrição completa das apresentações está no Anexo D.

O grupo começa a explanação com a seguinte afirmação:

Integrante do Grupo: Tá, esses tijolos, essa parede, seria como se fosse a gelatina, e aqui a gente tem o abacaxi cru tirando esse tijolinhos da gelatina, é o que acontece ali, o abacaxi tem uma enzima e que quando se junta com a gelatina ele quebra os aminoácidos que faz com que a gelatina endureça, então a gelatina não endurece por causa da enzima (Linha 6).

O professor questiona o motivo do abacaxi cozido não ter ação (Linha 11) e a resposta é de que o “abacaxi cozido perde a enzima que quebra os aminoácidos” (Linha 11). Na continuação, o docente solicita que seja mais bem explicado o que é “perder a enzima”, foi perguntado qual seria o nome desse processo. Nesse momento, uma integrante do grupo responde que houve uma “desnaturação” (Linha 13). Adiante, o docente sintetiza alguns dos conteúdos apresentados, de que há certa temperatura máxima para a atividade enzimática, e que, depois de certo ponto, a atividade baixa porque a desnaturação rompe as cadeias de aminoácidos que constituem a enzima (Linha 14).

6.2 Síntese das relações paradigmáticas e sintagmáticas do Grupo 1

Quadro 1 – Relações paradigmáticas das categorias Aminoácido e Colágeno.

Paradigmas dos Aminoácidos e Colágeno.
<ul style="list-style-type: none"> - Figura 35: Foto da gelatina. -Figura 36: Associado às moléculas de colágeno encontradas no esqueleto, nos vasos sanguíneos e tendões. Figura 37: Associada à representação molecular dos triglicerídeos. - Figura 38: Analogia com um tecido de roupa. - Figura 40: Analogia com os tijolos na parede. - Figura 41: Analogia com os tijolos da parede sendo removidos. - Narração do Vídeo 1: <i>“são de cadeias longas e formadas por aminoácidos conectados entre eles mesmos”</i>. - Narração do Vídeo 2: <i>“Os aminoácidos, eles são por exemplo, como tijolos de uma parede”</i>.

As associações da categoria escolhida representam uma grande variedade paradigmática, com a oferta de exemplos do conjunto de colágeno e aminoácidos e

quais seriam as suas propriedades. As associações da Figura 36 colaboram para ambientar o ouvinte com a localização das moléculas, ao mostrar a matéria-prima da gelatina e compará-la com os tecidos humanos, unindo-os em uma categoria mais abrangente.

A Figura 37 faz uma associação incorreta de uma molécula “de cadeia longa” de aminoácidos que são ligados com a escolha da representação molecular de triglicerídeos, essa associação não compromete a definição, mas não promove a visualização da representação canônica das ligações peptídicas. O vídeo também preservou a legenda na Figura 37 que indica a descrição diversa do que é um aminoácido. Nesse ponto, apresentaram pouco cuidado em sua montagem, pois ignoraram a legenda da imagem em sua escolha. Aqui vemos como o eixo paradigmático pode levar a associações científicas incorretas.

Foram utilizadas analogias para dar suporte visual e verbal nas explicações, na Figura 38 com o tecido de roupa e na Figura 29 com a construção e destruição de uma parede de tijolos. A Figura 41 também inclui os aminoácidos e o colágeno, o primeiro representado em cada tijolo e o segundo na combinação de todos os tijolos em uma grande parede. No modo verbal, também utilizaram o recurso da analogia, com o uso do conectivo “como tijolos”. Por fim, na Figura 35 temos a foto da gelatina amolecida. É uma imagem síntese do resultado do experimento, que foi explicado desde níveis moleculares, com suporte de analogias multimodais.

Quadro 2 – Relações Paradigmáticas da categoria Degradação Enzimática

Paradigmas de Degradação Enzimática
- Figura 35: Foto da comparação entre os abacaxis
- Figura 40: Ato de a bola de demolição romper a parede de tijolos.

- Figura 41: Ato de o abacaxi antropomorfizado destruir uma parede de tijolos.

Narração do Vídeo 1: *“porque o abacaxi tem outra proteína, mas que tem uma função diferente, porque ela consegue destruir outras proteínas”*.

Narração do Vídeo 2 *“uma enzima que é capaz de quebrar as ligações de aminoácidos”*.

Linha 6 da Transcrição da Apresentação: *“a gente tem o abacaxi cru tirando esses tijolinhos da gelatina, é o que acontece ali, o abacaxi tem uma enzima e que quando se junta com a gelatina ele quebra os aminoácidos que faz com que a gelatina endureça”*.

As associações com o processo de enzimas ocorrem com a foto da gelatina pronta, onde uma delas mantém a forma líquida (Figura 35), com o movimento da bola de demolição quebrando uma parede de tijolos (Figura 40) e com o ato do “Abacaxi Humano” retirar tijolos de uma parede (Figura 41). Duas explicações aparecem narradas no vídeo, postas no quadro como momentos 1 e 2, uma que identifica o processo de desnaturação enquanto a capacidade de “quebrar e destruir outras proteínas” e a outra que define como a “capacidade de quebrar a ligação de aminoácidos”. Na transcrição do debate, também há a descrição de que o processo de desnaturação é o da quebra de aminoácidos.

Essas associações manifestaram um papel restritivo do processo de degradação enzimática, restringindo o processo ao que ocorre no próprio experimento, sem que haja uma extrapolação do conceito para as outras variadas substâncias em que as enzimas agem. A definição mais precisa do fenômeno ocorreu na segunda narração do vídeo, “quebra da ligação dos aminoácidos”, essa definição foi a mais suportada pelas analogias, pois a ação de degradação sempre

mostra as “unidades de tijolos”, os aminoácidos, sendo rompidos de um muro. Esse ponto em específico, a não extrapolação, revela que esse elemento da Aula de Enzimas não foi aproveitado no experimento, ocasião que utilizamos a lactose como exemplo de substrato. Por fim, a definição do grupo o debate do vídeo (Linha 6) foi incorreta, ao afirmar que os “aminoácidos são quebrados”.

Quadro 3 – Relações Paradigmáticas da categoria Enzimas

Paradigmas de Enzimas
<ul style="list-style-type: none"> - Narração do Vídeo 1: “o abacaxi ele é rico em bromélia, uma enzima”. - Figura 39: Representação Molecular de uma Enzima. - Figura 40: Representação da Enzima enquanto uma bola de demolição. - Figura 41: Representação da Enzima enquanto um abacaxi antropomorfizado. - Linha 6 da Transcrição da Apresentação: “<i>o abacaxi tem uma enzima</i>”.

As enzimas são nomeadas como “Bromélias”, nome muito semelhante ao seu que é bromelina. Aqui, também houve um erro no eixo paradigmático, pois o abacaxi é um representante da família Bromeliaceae. A Figura 39 é acompanhada da apresentação verbal da enzima bromelina, mas não há explicação do que é a imagem da representação molecular de uma enzima. Duas associações foram feitas com as enzimas, um análogo com uma bola de demolição (Figura 40) e outra com um abacaxi quebrando muros (Figura 41). A primeira representação é apoiada pelo modo verbal na narração, o muro quebrado com a “quebra de proteínas”, a segunda é seguida de uma legenda, que erroneamente associa a ação do abacaxi à quebra de uma enzima, e não da ligação dos aminoácidos.

Quadro 4 – Paráfrase síntese do experimento do Grupo 1

O **colágeno** é uma cadeia de aminoácidos que compõe a gelatina, ela é **degradada**
(veias, tendões e esqueleto) (triglicerídeos) (quebrada, tijolos quebrados)

pela **enzima** bromelina proveniente do abacaxi, que ao ser colocada na
(“bola de demolição” e “abacaxi humano”)

preparação de uma gelatina, faz com que ela mantenha uma **forma líquida**. Caso o
(Foto da gelatina líquida)

abacaxi seja cozido, há uma **desnaturação de suas enzimas**, que não degradam as
(perder as enzimas)

ligações de aminoácidos do colágeno e deixam **de impedir o endurecimento da**
(Foto da gelatina sólida)

gelatina.

O Quadro 4 contém uma síntese do que foi apresentado pelo grupo no experimento. Esse sintagma combina as definições, propriedades e exprime todas as relações causais derivadas do experimento executado. Essa frase-síntese foi construída a partir dos desdobramentos do eixo paradigmático, com o objetivo de ressaltar os conceitos essenciais e as suas contradições. A partir do sintagma produzido, foram escolhidos alguns monemas e executada a associação paradigmática a eles, com base nos conceitos apresentados pelo grupo no conjunto da narração, imagens, legendas e debate após a apresentação do vídeo. De todas as associações, apenas uma é inválida, a da cadeia de aminoácidos com a cadeia

de triglicerídeos, as outras associações são ricas em analogias visuais, verbais, imagens e na narração.

6.2.1 Conclusões da Análise do Grupo 1

O grupo cumpriu os objetivos gerais de apresentar os materiais e as condições de como o experimento foi realizado, expressando em sua narração adaptação de linguagem, imagens de apoio e um uso intensivo de analogias. O conjunto da análise semiótica demonstra uma riqueza denotativa, com uma disposição dos conteúdos em múltiplas formas de representação, executando o experimento, narrando, usando imagens de apoio e utilizando diversas analogias. Além disso, o grupo soube como conotar determinadas categorias, expandindo os locais onde poderia encontrar a proteína do colágeno, abordando de modo apropriado que as proteínas são variadas e que as enzimas são um tipo especial de proteínas utilizadas para a degradação de substâncias.

O ponto insuficiente foi a não explicação dos motivos da inativação das enzimas do abacaxi a partir de seu aquecimento. Isso evidenciou que apenas buscaram explicar o resultado “que dá certo” do experimento, ou seja, o correto modo de fazer a gelatina. Mas durante o debate da apresentação e com o refinamento das representações apresentadas, pudemos observar que o conteúdo de desnaturação já estava apropriado (Linha 6), pois o grupo respondeu com facilidade a respeito da desnaturação enzimática. Esse também foi um momento oportuno para rememorarmos com o conjunto da turma uma parte do conteúdo de atividade enzimática, de como a alta temperatura favorece a sua ação, mas com determinado limite.

O grupo demonstrou boa apropriação dos conteúdos, ao dispor com variadas paráfrases a narração, ao executar o experimento com introdução, desenvolvimento e conclusões finais, por se utilizarem de uma variedade de imagens que eram consonantes com a apresentação. Ainda, construíram uma analogia que sintetizava boa parte dos conceitos, ao construir uma ação de um abacaxi derrubando uma parede de aminoácidos de colágeno. Sugere-se que para esse grupo a liberdade dada para construir analogias faz com que transite bem entre as representações canônicas e próprias, e também, a orientação de guiar a narração para um público amplo promoveu uma descrição bem parafraseada, que integrou elementos singulares do repertório discursivo do grupo somadas à nomenclatura científica. Isso é consonante com as ideias de Volóchinov (2017), sobre um sentido novo só aparecer entre uma interação dialética entre os antigos, em que assevera que compreender um conceito alheio significa orientar-se em relação a ele. A proposta também demonstra a coordenação no uso de multimodos de representação, tais como: o experimento enquanto modo representacional em três dimensões – vídeos, imagens digitais e desenhos em papel –, além do modo verbal falado e escrito (WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006).

Os estudantes também integram múltiplas representações ao integrar a observação, manipulação e análise de objetos da realidade, representações digitais de imagens e desenhos próprios e as legendas e narrações que suportavam a explicação. Ressalta-se que integradas às múltiplas representações temos um uso expressivo de analogias, tanto nas imagens digitais, quanto no desenho em papel e na narração. O posterior refinamento de conceitos expressos durante os debates da apresentação é consonante com a proposta de abordagem da multimodalidade de

Prain e Tytler (2013), que envolvem os desafios representacionais, avaliação, negociação e refinamento dos conceitos.

Consideramos que o Grupo 1 obteve uma apropriação satisfatória de todos os conceitos, ao transitar nas variadas formas de representação, rica coordenação da adaptação do discurso para um público amplo e capacidade de generalizar os conceitos científicos e asseverar as relações com outros (VIGOTSKI, 2009). O experimento foi corretamente tratado como uma ilustração dos conceitos científicos, o Grupo articulou com eficiência a situação particular com a relação abrangente entre os conceitos.

6.3 Análise do Grupo 2 – Atividade Enzimática

O Grupo 2 não fez narrações, legendas descrevem o experimento enquanto ele ocorre. Inicia-se com o seguinte texto:

Legenda: Experimento da gelatina. Primeiro foi fervida a água acrescentando a gelatina. Depois, acrescentou-se abacaxi picado na gelatina.

Concomitante a legenda, temos a filmagem da preparação o experimento, com a adição de abacaxi e gelatina, conforme Figura 42 – .

Figura 42 – Preparação do Experimento



Fonte: Estudantes do Grupo 2

O vídeo continua com a seguinte legenda:

Legenda: Repete-se o processo com o abacaxi cozido.

O filme demonstra a repetição do experimento, agora com o abacaxi previamente cozido sendo adicionado à gelatina, conforme Figura 43.

Figura 43 – Adição de Abacaxi Cozido



Fonte: Estudantes do Grupo 2

A próxima legenda descreve a parte final o experimento:

Legenda: Levando ao freezer até a gelatina ficar pronta.

Resultado final: Gelatina endurecida somente na que o abacaxi foi cozido.

Nesse momento, o vídeo expressa a diferença entre os experimentos, com a distinção da consistência entre as duas gelatinas, com uma colher mexendo nos dois recipientes, a gelatina com o abacaxi cozido mostrou a consistência viscosa típica (Figura 45), enquanto a adicionada ao abacaxi cru se mostrou liquefeita (Figura 44).

Figura 44 – Final do Experimento com Abacaxi Cru



Fonte: Estudantes do Grupo 2

Figura 45 – Final do Experimento com Abacaxi Cozido



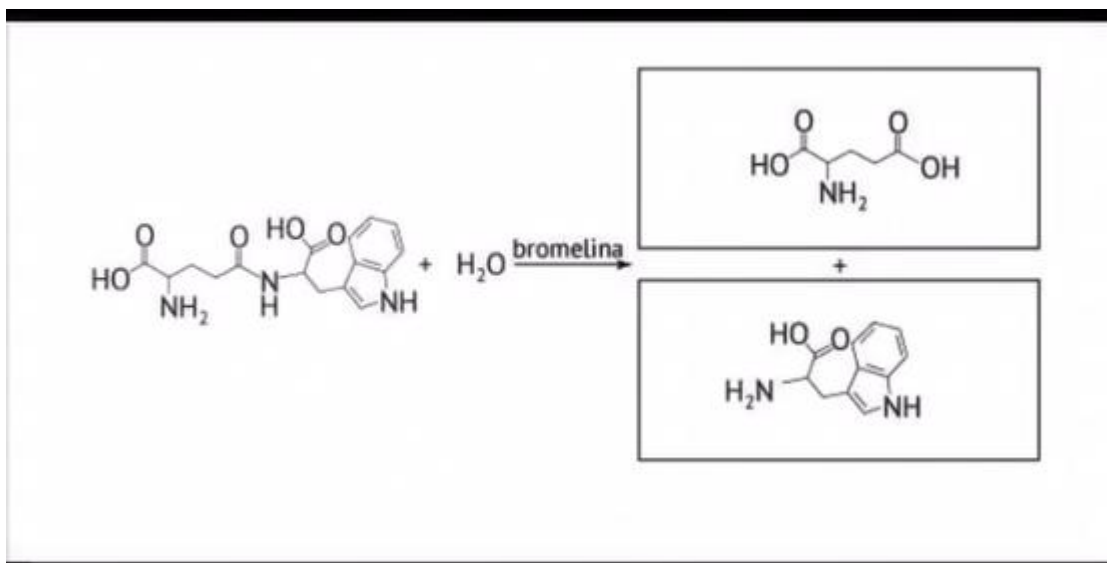
Fonte: Estudantes do Grupo 2

O vídeo então prossegue com a seguinte legenda:

Legenda: Conclusão final: O abacaxi contém uma enzima chamada bromelina. Essa enzima é capaz de quebrar a ligação dos aminoácidos da gelatina, fazendo com que ela não endureça. A gelatina com abacaxi cozido endureceu, pois, cozinhando ele, essa enzima é perdida.

O trecho associa a enzima do abacaxi ao seu nome, bromelina, e faz uma analogia com o adjetivo “perdida”, para representar a desnaturação. Após a frase conclusiva, o grupo finalizou o vídeo com uma associação do rompimento de uma ligação peptídica dos aminoácidos Ácido Aspártico e do Triptofano na Figura 46.

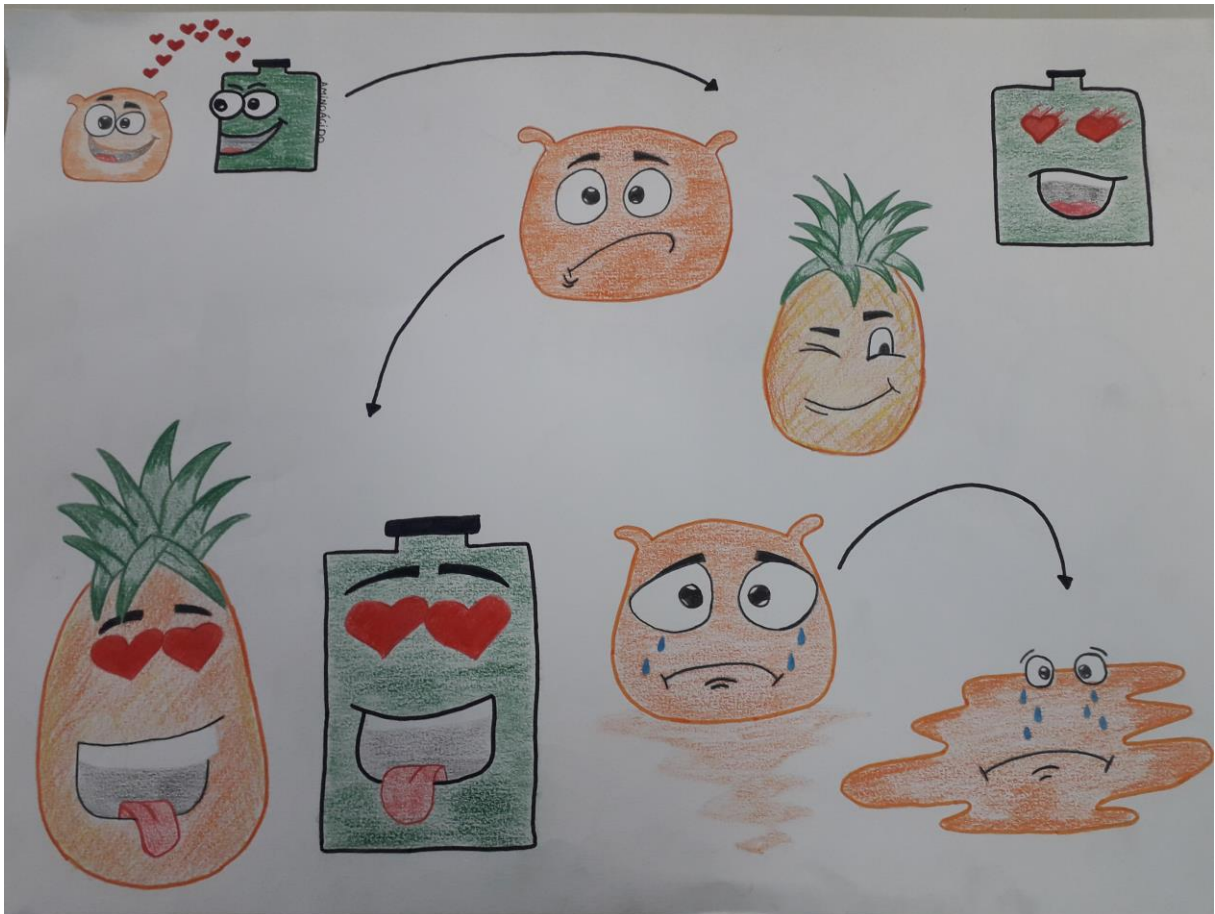
Figura 46 – Rompimento de ligação Peptídica



Fonte: Estudantes do Grupo 2

Terminado o vídeo, a analogia produzida pelo grupo foi apresentada, conforme a Figura 47.

Figura 47 – Analogia do Grupo 2



Fonte: Estudantes do Grupo 2

A analogia produzida tem três personagens antropomorfizados: a gelatina, o aminoácido e o abacaxi. Há uma pequena anotação ao lado do ser retangular e verde, apontado que é um aminoácido. Há uma ligação entre ambos, mas ao se encontrar com o abacaxi, que interage com o aminoácido, a ligação é desfeita. O abacaxi estabelece uma relação amorosa com o aminoácido e a gelatina se esvai de tristeza. Após esse momento, iniciamos o debate.

O professor faz uma pergunta sobre o que é a “enzima perdida” (Linha 16), frase que conclui o vídeo. A resposta do grupo é que isso ocorre quando é cozida. O professor pergunta novamente o que significa a enzima ser cozida e se há outra forma de falar, ao que o grupo responde que a enzima “foi desnaturada” (Linha 17 até a 19). Reforça-se então, que os aminoácidos não saem de lá, não evaporam, que a função pode ser perdida, mas as subunidades se mantêm. Nesse momento, o Grupo 2 discute que o termo foi utilizado porque foi solicitado “uma linguagem mais simples” (Linha 23).

Em diante, os estudantes começaram a apresentar a analogia produzida, iniciando na Linha 26:

Tá, aqui no desenho esses aqui são os aminoácidos e aqui é a gelatina. Aí a gelatina tinha uma conexão com os aminoácidos, que deixava ela sólida.

O docente indaga se a conexão entre elas é o amor, o grupo responde que sim e que a ligação é desfeita com a chegada do abacaxi, que pisçou e conquistou o aminoácido. O professor indaga se existe esse amor mesmo com a enzima do abacaxi rompendo o aminoácido (Linhas 27 até a 30) e o grupo responde que sim. A falta de conexão entre os aminoácidos e a gelatina a deixam líquida.

Terminado o debate a respeito da analogia, é realizada uma pergunta sobre a outra porção do experimento, tanto o Grupo 1 quanto o Grupo 2 centraram seus esforços em explicar os motivos da gelatina não endurecer, mas não de que maneira ela assume a sua consistência viscosa. O docente indaga o porquê de a gelatina ficar com a sua consistência típica (Linha 31). Um estudante da sala responde que o colágeno suga a água, porque as suas moléculas se mantêm unidas (Linha 32 até a 34).

O professor desenha moléculas de colágeno no quadro, em sua forma de tripa hélice, e aborda que o aquecimento da gelatina faz com que algumas dessas

ligações se rompem, e ao ocorrer o resfriamento, ocorre um entrelaçamento dessas cadeias de colágeno e a água permanece dentro dessas ligações (Linha 39). Segue-se uma explanação de que a bromelina degrada a ligação dos aminoácidos de forma irreversível, impedindo o colágeno de formar sua estrutura tridimensional, e assim, ficando com uma aparência líquida (Linha 40). O professor pergunta se houve pesquisas a respeito do uso da bromelina, as respostas foram negativas, e assim foi possível comentar que ela é um eficiente amaciante de carne, justamente por degradar as ligações de colágeno que tornam a carne mais dura.

Seguimos na próxima seção com a síntese das relações paradigmáticas e sintagmáticas.

6.4 Síntese das relações paradigmáticas e sintagmáticas do Grupo 2

Nesta seção, faremos uma síntese sintagmática e paradigmática das categorias centrais do experimento: Aminoácidos e Colágeno, Desnaturação e Atividade Enzimática.

Quadro 5 – Relações paradigmáticas das categorias Aminoácidos e Colágeno

Paradigmas de Aminoácidos e Colágeno
<ul style="list-style-type: none"> - Figura 42: Preparação da Gelatina - Legenda final do Vídeo: <i>“Essa enzima é capaz de quebrar a ligação dos aminoácidos da gelatina”</i> - Figura 46: Representação da degradação da ligação peptídica - Figura 47: Analogia final, aminoácido interagindo com a gelatina e depois com o abacaxi - Linha 26 até a 30 do Debate: discussão sobre a analogia, aminoácidos e gelatina

com relação amorosa, posteriormente, abacaxi e aminoácidos ficam ligados.

Linha 37 até a 40 do debate: explicação sobre a estrutura tridimensional do colágeno e o motivo da gelatina possuir sua conformação típica

As associações do Grupo 2 ficaram restritas aos aminoácidos, sem que a fossem feitas menções explícitas ao colágeno. A cadeia paradigmática envolveu a apresentação no vídeo e denotativa do próprio experimento (Figura 42), sem legendas que indicassem as unidades que a compõem. Os aminoácidos aparecem explicitamente em três momentos: na Figura 46, quando a fórmula estrutural de dois aminoácidos é demonstrada, com a bromelina catalisando o rompimento da ligação peptídica; na legenda final, com a enzima atuando na ligação dos aminoácidos; e na analogia, com um aminoácido antropomorfizado.

Na analogia produzida, os aminoácidos aparecem como um elemento que ao ser isolado da constituição da gelatina, faz com que ela perca as suas propriedades típicas. A afinidade da ligação do complexo substrato/enzima é expressa como uma ligação amorosa (ambas compartilham o significado de serem fortes), confere uma associação interessante entre moléculas afins, entretanto, essa mesma razão não funciona bem para explicar a ligação entre os aminoácidos e a própria gelatina, já que são unidades que constituem a própria gelatina

Os aminoácidos também serviram para desencadear o debate posterior à apresentação do vídeo, com uma discussão geral sobre a estrutura tridimensional do colágeno e o seu papel na constituição da forma comum das gelatinas. O Grupo 2 concentrou-se em explicar a interferência da degradação enzimática na constituição das gelatinas, não comentando a respeito da constituição regular das gelatinas e a sua associação ao colágeno.

Quadro 6 – Relações paradigmáticas da categoria Degradação Enzimática

Paradigmas de Degradação Enzimática
<ul style="list-style-type: none"> - Figura 44 e Figura 45: Comparação entre a gelatina com abacaxi cru e cozido - Legenda final do vídeo: “Essa enzima é capaz de quebrar a ligação dos aminoácidos da gelatina” - Legenda final do vídeo: “<i>A gelatina com abacaxi cozido endureceu, pois, cozinhando ele, essa enzima é perdida</i>” - Figura 46: Bromelina degradando a ligação peptídica - Figura 47: Analogia produzida, gelatina se tornando líquida por tristeza da separação. - Linha 19 até 24 do debate: Desnaturação das enzimas e destino dos aminoácidos dela. - Linha 30 do debate, explicação da analogia: “<i>Tá daí o abacaxi chegou e quebrou à conexão entre a gelatina e os aminoácidos e acabou se tornando líquida</i>”

A degradação enzimática aparece inicialmente na cadeia paradigmática na forma visual e denotativa do próprio experimento, sem que exista narração ou legenda que acompanhe esse momento (Figura 44 e Figura 45). O vídeo explora a diferença de consistência do resultado do experimento, evidenciando a forma pouco viscosa da gelatina quando feita com abacaxi cru. Na legenda final, é utilizado o adjetivo “perdida”, como uma analogia verbal para explicar o papel de desnaturação da enzima bromelina por aquecimento. A enzima é nomeada na Figura 46, com os aminoácidos

Quadro 7 - Relações Paradigmáticas da categoria Enzimas

Paradigmas de Enzimas
<ul style="list-style-type: none"> - Figura 46: Enzima bromelina aparece como exemplo do rompimento da ligação peptídica. - Figura 47: Analogia produzida, a ligação do abacaxi com os aminoácidos desestabiliza a gelatina.

essa função e a gelatina endurece.

(Contraste das duas gelatinas no vídeo)

O Sintagma-síntese do grupo evidenciou uma baixa variabilidade dos monemas, com exceção da analogia, quase todos foram definidos apenas uma vez, sem que ocorresse associações em categorias menos abrangentes (exemplos) ou maiores generalizações, agrupando-os em conceitos mais gerais. A escolha do grupo em deixar de narrar o experimento, denotar rigidamente as primeiras etapas e apresentar as categorias apenas no final, tornou as relações conceituais mais simplórias quanto ao manejo do conteúdo.

A analogia visual produzida foi o momento em que se expressou as maiores variações do discurso, a ligação entre o complexo enzima-substrato foi análoga a uma relação amorosa, enquanto o rompimento dessa ligação provoca uma alteração física, a menor viscosidade da gelatina, enquanto o análogo foi representado como o choro, a tristeza.

6.4.1 Conclusões da Análise do Grupo 2

O grupo apresentou com descrições simples e denotativas na condução do experimento, sem que houvesse generalizações dos conceitos e repertório associativo, algo revelado pela baixa quantidade de paradigmas de cada monema. A análise semiótica revelou que algumas representações foram utilizadas (filmagem do experimento, representação molecular, texto e analogia visual), mas sem ocorrer maiores adaptações em adaptar a linguagem a um público amplo

As variações do discurso foram nítidas na construção da analogia, observamos aqui que a *necessidade* de construir uma analogia levou o grupo a

buscar recursos discursivos para representar o fenômeno do experimento que conduziram. Nesse sentido, destacamos o potencial das analogias para desatar a criatividade para que estimulemos situações que visem a adoção de múltiplas representações, mesmo nesse grupo que sugere um perfil mais sintético e conservador na exposição do experimento e das representações. Vemos aqui um exemplo de como as analogias podem estimular as representações próprias (AINSWORTH; PRAIN; TYTLER, 2011; TYTLER et al., 2013)

Ao avaliar a apropriação de conceitos, a análise semiótica do grupo demonstrou baixa variação discursiva, com poucas camadas responsivas próprias sendo adicionadas aos enunciados, a pequena quantidade de paráfrases sugere que o discurso é mais repetido do que genuinamente compartilhado (BAKHTIN, 2015; VOLÓCHINOV, 2017). Os conceitos científicos também foram pouco generalizados, a atividade enzimática, desnaturação proteica e informações a respeito dos aminoácidos e colágeno não foram agrupados em categorias mais abrangentes e não houve muitas associações que os exemplificava. Conforme Vigotski (2009) aponta, a passagem de conceitos espontâneos para conceitos cada vez mais científicos e robustos, envolve a generalidade e a organização, enquanto os espontâneos explicam os fenômenos de modo único e particularizado. Nesse sentido, o Grupo 2 obteve menor apropriação dos conceitos ao revelar baixa plasticidade ao representar os conteúdos do experimento

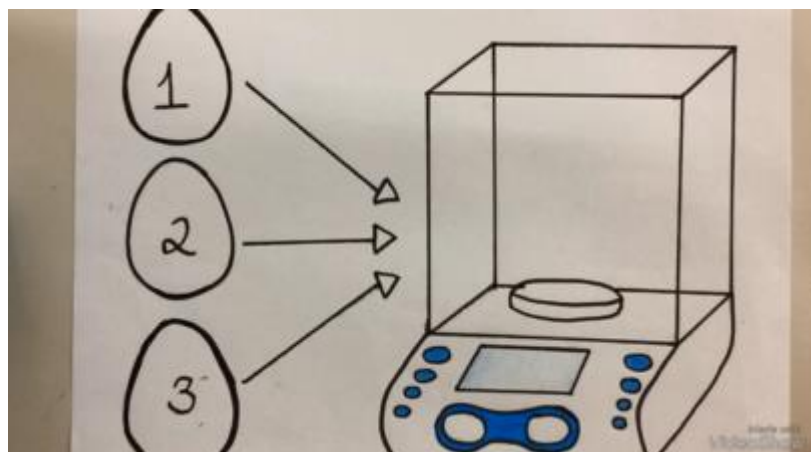
6.5 Análise do Grupo 3

O vídeo do experimento iniciou com a descrição dos preparativos tal como a narradora apresenta:

Narradora: Oi gente, hoje vamos falar sobre o experimento de biologia do ovo. E começamos cozinhando e pesando 3 voos. obtendo as seguintes massas: o primeiro ovo um. 52,81 gramas, o ovo 2 49,14 gramas, o ovo 3, 53,49 gramas. Depois nós colocamos cada ovo em Beckers diferentes, sendo que o primeiro Becker tinha água e sal, o segundo Becker tinha água destilada e o terceiro tinha água da torneira

O grupo explica montagem de três ambientes com concentração distintas, saturado de água com sal (mais hipertônico), com água da torneira (hipotônico) e com água destilada (também hipotônico). O vídeo intercala figuras com a filmagem do experimento, conforme a Figura 48, Figura 49 e Figura 50.

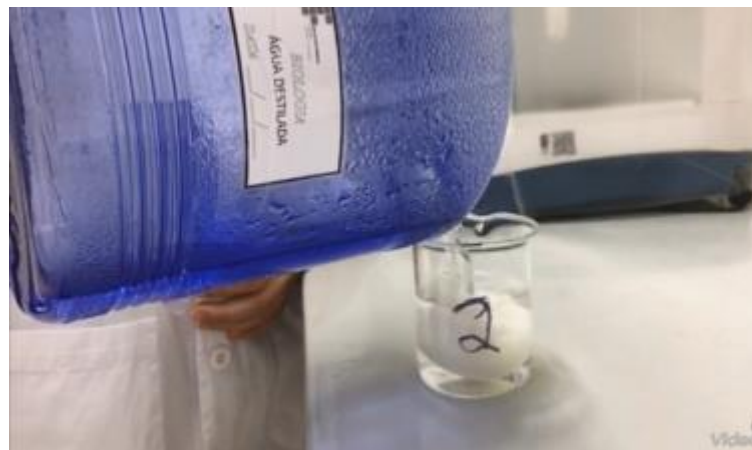
Figura 48 - Representação da balança



Fonte: Estudantes do Grupo 3

Figura 49 - Preparação do Experimento

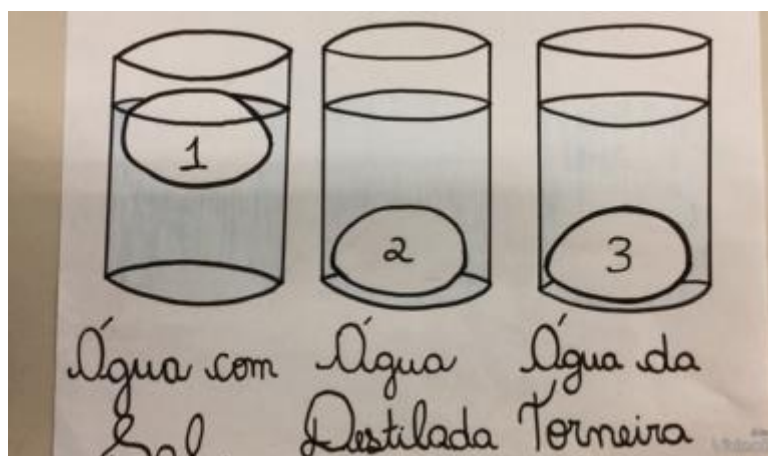
Fonte: Estudantes do Grupo 3

Figura 50 - Adição de água destilada

Fonte: Estudantes do Grupo 3

Passado um dia do experimento, o grupo apresentou a informação de que há diferença de densidade dos meios e representou o ovo no ambiente com água no sal boiando, enquanto o ovo afunda dos outros dois ambientes, conforme a Figura 51 A narração do vídeo explica que o sal na água torna o meio mais denso do que o ovo.

Figura 51 - Desenho da diferença de densidade



Fonte: Estudantes do Grupo 3

Adiante, o grupo narra a diferença de massa entre no decorrer de dois dias do experimento, evidenciando um ganho de massa no ambiente com água destilada e da torneira e uma perda de massa no ambiente de água com sal, assim representado pela Figura 52.

Figura 52 - Tabela da variação das massas dos ovos

	OVO1 (ÁGUA COM SAL)	OVO2 (ÁGUA DESTILADA)	OVO3 (ÁGUA TORNEIRA)
1º DIA	52,31g	49,44g	53,49g
2º DIA	52,01g	52,73g	58,17g
DIFERENÇA	-0,79g	+3,61g	+4,68g

Fonte: Estudantes do Grupo 3

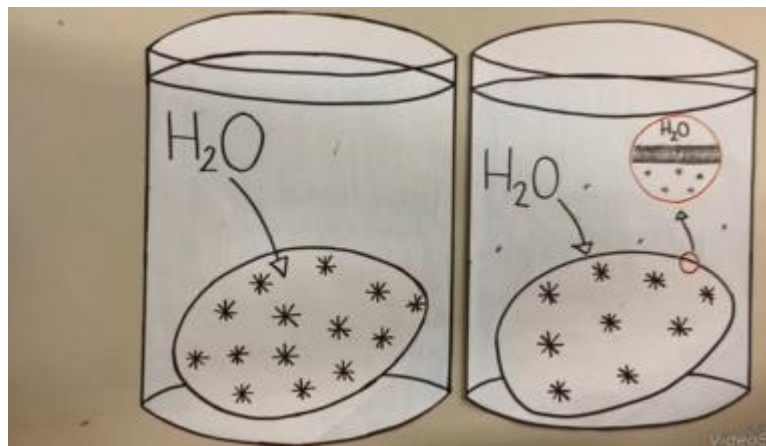
Desse ponto em diante, finda-se a descrição do experimento e dos resultados e se inicia a interpretação dos dados. A narradora do vídeo explica os dados dessa forma:

Narradora: As diferenças das massas do primeiro e do segundo dia dos ovos, aconteceram porque os ovos foram submetidos a condições diferentes em cada caso, sendo que o primeiro ovo que está na água com o sal, está hipotônico, em relação ao meio que se encontra, ou seja, a água em volta dele possui mais sais que o próprio ovo, então a água que está dentro dele vai sair para tentar oferecer mais lugar para aqueles sais se espalharem e isso vai fazer com que ele perca massa.

Então já no ovo 2 e no ovo 3, estão hipertônicos em relação ao meio que se encontram, ou seja, dentro deles tem mais sais que na água em volta, então essa água vai tentar entrar no ovo para oferecer mais espaço para os sais se espalharem, isso vai fazer com que os ovos ganhem massa.

O trecho narrado acima é acompanhado dos seguintes desenhos, representados na Figura 53 e Figura 54:

Figura 53 - Representação do meio Hipotônico



Fonte: Estudantes do Grupo 3

Figura 54 - Representação do meio hipertônico



Fonte: Estudantes do Grupo 3

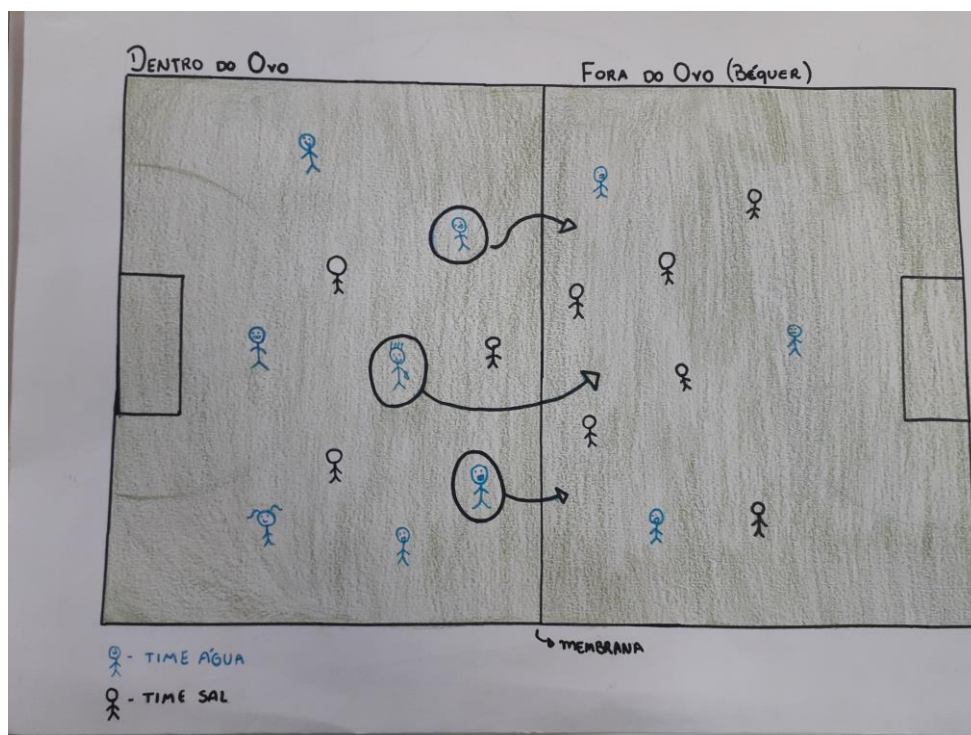
Esse trecho sintetiza a conclusão de todo o experimento, são utilizadas associações no eixo paradigmático, o ambiente com sal é equivalente a um meio

hipertônico e o meio com menor quantidade de sais do que o ovo é hipotônico. Há associações correspondentes com a imagem, asteriscos representam a diferença de concentração de sais dentro e fora do ovo, assim como se apresenta o movimento da água com setas. A extremidade do ovo no desenho é representada como uma bicamada fosfolipídica, a membrana plasmática. Aqui notamos uma associação incorreta, as membranas exteriores do ovo, são de natureza proteica, com predominância de queratina e não fosfolipídica. Mas, no experimento o ovo foi cozido e descascado, o que remove as membranas mais externas, a parte exposta do ovo decorre da desnaturação da albumina, proteína presente na clara do ovo, que se solidifica ao ser cozida.

Ao concluir as razões do processo osmótico, há incorreções quanto aos motivos do movimento da água nos meios distintos. O Grupo inovou em buscar uma hipótese singular, atribuindo a certa “necessidade” da natureza de melhor distribuir os espaços entre o soluto e o solvente. A explicação dada, a respeito da exigência em fornecer espaço para o sal se espalhar, contrasta com as imagens produzidas, em que percebemos a propriedade da membrana semipermeável do ovo, a água flui entre os ambientes enquanto os solutos ficam estáticos. Os conceitos científicos que versam sobre a atração eletroquímica da água com certos compostos não foram mencionados.

Finalizada a apresentação, iniciamos o debate com a apresentação da analogia visual produzida pelo grupo, mostrada na Figura 55:

Figura 55 - Analogia Visual do Grupo 3



Fonte: Estudantes do Grupo 3

Antes de falar da Analogia produzida, o grupo indagou o motivo do ambiente com a água da torneira ter ganhado mais massa do que o da água destilada, já que a água da torneira deve ser mais concentrada que a água destilada. (Linha 47 do Anexo D). Debates que muitas variáveis podem estar envolvidas, há diferença na massa inicial dos ovos, para uma plena comparação eles deveriam ser iguais e o destilador pode apresentar algum problema de funcionamento (Linha 48).

Na Linha 49, os estudantes explicam que fizeram um campo e que as moléculas de água se espalham para ajudar o parceiro deles do outro lado, representado como o ambiente externo ao ovo. O meio de campo é associado a uma membrana, sem apontá-la como membrana plasmática. A mudança de posição dos jogadores faz com que ocorra perda de massa em um dos lados do campo. Vale ressaltar que a analogia não coaduna com a explicação do experimento, em que havia uma necessidade da água se movimentar para “liberar espaço” para o sal. Na

analogia visual, vemos que as setas são unidirecionais, somente a água se movimenta. A analogia é compatível ao apresentado na Figura 53 e Figura 54, em que a água, e não o soluto, movimenta-se pela membrana semipermeável.

Findada a exposição dos estudantes, foi aberta a oportunidade para discutir as razões do processo de osmose pelo docente (Linha 53). Arguimos que a água não se movimenta por razões de espaço, mas por cargas elétricas presentes em substâncias polares que atraem as moléculas de água, decorrendo aí o seu movimento.

6.6 Síntese das relações paradigmáticas e sintagmáticas

Quadro 9 -Relações paradigmáticas da categoria Concentração das Soluções

Paradigmas de Concentração das soluções
<ul style="list-style-type: none"> - Narradora do vídeo: Becker com água e sal, água da torneira e água destilada - Narradora do vídeo: Há uma diferença de densidade do meio em relação ao ovo, na água com sal ele flutua, no meio com água da torneira e destilada ele afunda” Narradora do vídeo: Ambiente com sal é hipertônico, ambiente com água da torneira e destilada é hipotônico. - Figura 49: Filmagem do experimento com a adição de sal na água. - Figura 50: Filmagem do experimento com a adição de água destilada. - Figura 53: Representação do ambiente hipotônico, asteriscos identificam os solutos em maior quantidade dentro do ovo. - Figura 54: Representação do ambiente hipertônico, asteriscos identificam os solutos em maior quantidade fora do ovo. - Figura 55: Lados do campo do futebol apresentam quantidade de jogadores diferentes, que levam a diferentes concentrações.

As associações com a concentração de soluções foram extensamente representadas no experimento. Foram indicadas na preparação do experimento com a filmagem em preparar as soluções. (Figura 49 e Figura 50). Mais à frente, o conceito de solução hipertônica e hipotônica também foi definido pelo grupo e desenhos correspondentes dos ovos em diferentes concentrações foram mostrados (Figura 53 e Figura 54).

Os solutos foram representados como moléculas não solúveis, já que permaneciam dentro ou fora dos ovos, a depender do destaque dado para o tipo meio desejado. Na analogia, as concentrações foram representadas em unidades, “jogadores”, que poderiam mover-se dentro de determinado espaço compreendido pelo campo. Por fim, o grupo também associou corretamente as diferenças de densidade em ambos os meios, houve certa generalização do conceito de densidade, que aparece na narração quando se apresenta o ovo boiando em meio hipertônico e afundando em meio hipotônico.

Quadro 10 Relações Paradigmáticas da Categoria Osmose

Paradigmas de Osmose
<ul style="list-style-type: none"> - Narradora do Vídeo: “então a água que está dentro dele vai sair para tentar oferecer mais lugar para aqueles sais se espalharem e isso vai fazer com que ele perca massa.” - Narradora do vídeo: “então essa água vai tentar entrar no ovo para oferecer mais espaço para os sais se espalharem, isso vai fazer com que os ovos ganhem massa - Figura 52: Resultado da osmose, tabela de variação de massa dos ovos - Figura 53 e Figura 54: Setas que indicam o movimento da água - Figura 55: Movimento dos jogadores do time água

Em nenhum momento o grupo citou o conceito osmose ou associou a outros fenômenos biológicos o experimento executado. De toda forma, é explícito o

repertório do conceito de osmose em várias em variadas representações, que envolve a diferença de massa dos ovos depois de submetidos às distintas concentrações Figura 52, as setas que representam o movimento da água, que é congruente com a concentração de solutos expressa nos desenhos (Figura 53 e Figura 54). Na analogia produzida, o movimento da água pelo campo, passando por uma membrana, também expressa o processo da osmose (Figura 55).

Nesse conceito, houve baixo repertório dos estudantes, já que não utilizaram maior variação discursiva para explicar o fenômeno, como o apoio de exemplos e adaptações descritivas do fenômeno. Os desenhos que indicavam a água em movimento entraram em contradição com a explicação final do vídeo, que o “movimento da água é ocasionado para dar mais espaço aos sais”. Nos desenhos, os solutos não são apresentados em movimento para dentro ou fora do ovo.

Quadro 11 – Relações Paradigmáticas da Categoria Membrana Semipermeável

Paradigmas de Membrana semipermeável
<ul style="list-style-type: none"> - Figura 53: Linha do ovo no desenho. Associação com a bicamada lipídica - Figura 54: Linha do ovo no desenho - Figura 55: Linha do campo de futebol, com a legenda indicando que é uma membrana.

Nesse experimento, é possível a porção externa do ovo a uma membrana semipermeável, por causa da desnaturação e coagulação da proteína albumina, que possibilita a passagem das moléculas de água. O grupo associou essa porção incorretamente a uma bicamada lipídica, há evidente similaridade em conceber uma membrana semipermeável qualquer à bicamada lipídica, já que ela também recebe esse adjetivo. Na analogia produzida pelo Grupo 3, a membrana também é representada na linha divisória do campo com uma legenda indicativa. O grupo não

definiu o que seria a membrana semipermeável, a informação fica implícita no decorrer do experimento, quando a água se move entre os meios e os solutos não possuem essa capacidade.

Quadro 12 – Sintagma do Grupo 3

As **diferentes concentrações de sais** podem deixar o meio hipertônico ou hipotônico,
(sais adicionados na solução, asteriscos representando sais)

quando **há mais sal** no meio ao redor do ovo comparado ao seu interior, **a água se**
(mais asteriscos do que dentro) *(para abrir espaço ao soluto)*

move do ovo em direção ao meio, quando há mais sais dentro do ovo do que no
(jogadores ajudando seu time do outro lado do campo)

meio exterior, o movimento da água é para dentro do ovo. Em um meio hipertônico,

o ovo perde massa, enquanto em meio hipotônico, ganha massa.

(tabela comparativa da variação da massa)

Os sintagmas do Grupo 3 revelam variadas representações que foram utilizadas no experimento, a dizer, o vídeo, as imagens esquemáticas, a narração, a tabela com dados numéricos e a analogia visual. Isso evidencia um esforço do grupo em adaptar o discurso científico e adicionar as suas próprias camadas responsivas ao conteúdo.

Quando adentramos na análise dos conceitos científicos desejados, houve uma disparidade no tratamento a eles, enquanto a concentração de solutos foi ricamente explorada, com exemplos, desenho e definições conceituais, mas as categorias de osmose e membrana semipermeável tiveram associações incorretas e falta de exemplos e generalizações. Dessa forma, o sintagma é mais ricamente sintetizado em parte do conteúdo do experimento.

[

6.6.1 Conclusões da Análise do Grupo 3

. Nesse trabalho, podemos notar a incongruência conceitual entre duas representações, enquanto na narração a definição de osmose foi precária e definida como movimento das moléculas de água para dar espaço aos solutos, a figura produzida não acompanhou essa definição, porque os solutos continuaram imóveis. Esse fato nos faz refletir em que o conceito pode estar adequado a um tipo de representação, mas pouco adequado a outro. Só a coordenação entre as diferentes representações (PRAIN; TYTLER, 2013; WALDRIP; PRIN; CAROLAN, 2006) pode nos revelar a aprendizagem de dado conteúdo. Além disso, a oportunidade de promover representações próprias e debate para refiná-las (Linha 53 do Anexo D), também reforça o papel de estimular os estudantes a se expressar e produzir seus desenhos (AINSWORTH; PRIN; TYTLER, 2011).

A analogia produzida pelos estudantes colabora na visualização da movimentação das “moléculas de jogadores” da água, com setas indicando o seu movimento dentro do campo, atraídos pelos “jogadores soluto” adversários. Talvez a presença de uma bola, algum fator de atração em posse dos solutos e no campo adversário, serviria para enriquecer essa analogia. A analogia não funciona bem em

alguns quesitos, a linha mediana do campo de futebol não é uma barreira física ou imaginária aos jogadores, ela é regularmente cruzada, o que não constituiria em uma membrana semipermeável, já que o soluto fluiria livremente.

Nos critérios de aprendizagem, o grupo se mostrou com engajamento para a generalização dos conceitos e adaptação na linguagem e nos desenhos para a melhor compreensão. Verificamos melhor apropriação e expressão no conceito de concentração de sais, o Grupo 3 forneceu variadas generalizações nesse tema, associando a diferença de densidade provocada pela diferença de concentrações como suporte.

Já a definição de osmose e membrana careceu de maior sistematização e revela uma menor apropriação desses conceitos, ambas não foram delimitadas. As associações com a osmose aparecem dispersas durante o experimento, houve incorreção no momento de explicar o fenômeno e não ocorreram tentativas de generalização, esses fatos prejudicaram a apropriação dos conceitos científicos, pois recorreram a conhecimentos espontâneos, particulares e sem associação com outros conceitos (VIGOTSKI, 2009) do Grupo. A membrana semipermeável foi apenas apontada, suas propriedades não foram demonstradas, ficando implícito na imagem a impossibilidade da movimentação dos solutos. De toda forma, as associações incorretas se mostraram como erros genuínos e singulares, que certamente são mais relevantes do que acertos copiados e irrefletidos, pois as primeiras são mais fáceis em se tornar objetos de discussão, refinamento e de novas sínteses.

6.7 Análise do Grupo 4

O último grupo analisado conduziu um experimento sobre osmose. O vídeo do grupo não foi narrado, as legendas acompanharam a exibição dos procedimentos, assim como as explicações e conclusões. O vídeo inicia com a Figura 56 e a Figura 57, em que é demonstrado como os diferentes meios foram estabelecidos, com a adição de sal e outro com água destilada.

Figura 56 – Preparação da solução hipertônica



Fonte: Estudantes do Grupo 4

Figura 57 - Preparação da Solução Hipotônica

Fonte: Estudantes do Grupo 4

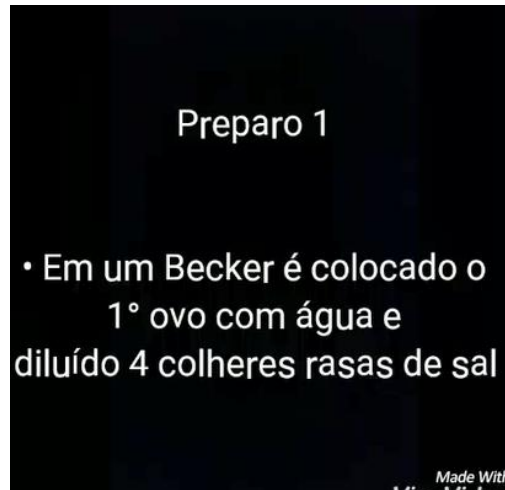
A seguir, temos no vídeo informações a respeito da condução do experimento, com o uso da linguagem escrita. Foi apresentada a massa inicial dos ovos (Figura 58) e o modo de preparo das duas soluções, com sal e com água destilada (Figura 59 e Figura 60). Aqui houve um lapso do Grupo e a terceira amostra com água da torneira não foi apresentada.

Figura 58 - Dados iniciais de Massa

• Foi cozido três ovos e pesados um a um
Peso inicial das amostras
amostra 1: 57,88 g
amostra 2: 46,52 g
amostra 3: 53,76 g

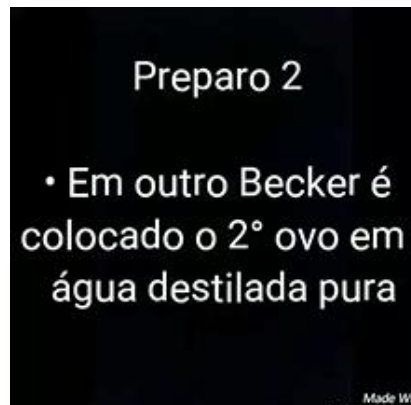
Fonte: Estudantes do Grupo 4

Figura 59 - Legenda sobre o preparo



Fonte: Estudantes do Grupo 4

Figura 60 - Legenda do vídeo sobre o preparo



Fonte: Estudantes do Grupo 4

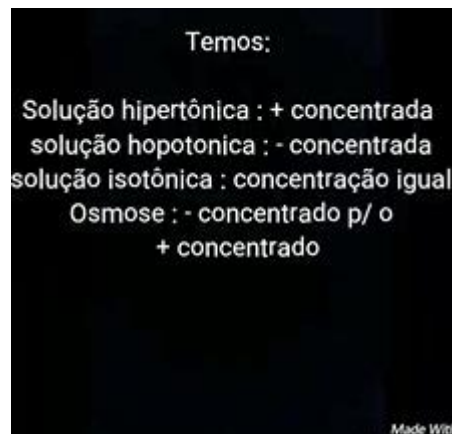
A imagem dos beckers com as soluções (Figura 61) é acompanhada de legenda com a explicação das três soluções, hipertônica, hipotônica e isotônica. (Figura 62) e descrição sucinta do processo da osmose, valendo-se de sinais gráficos.

Figura 61 - Imagem dos Beckers com os Ovos



Fonte: Estudantes do Grupo 4

Figura 62 - Explicação do Experimento



Fonte: Estudantes do Grupo 4

O Grupo 4 finalizou o vídeo com texto conclusivo do experimento, que está transcrito abaixo:

Então basicamente se eu colocar uma célula em uma solução hipertônica ela perde água. Se eu colocar em uma solução hipotônica ela ganha água por osmose, logo ovo que inchou estava em uma solução com concentração hipotônica. O ovo que murchou estava em uma solução hipertônica que não houve alteração e acho que é o da água destilada, estava em uma concentração isotônica.

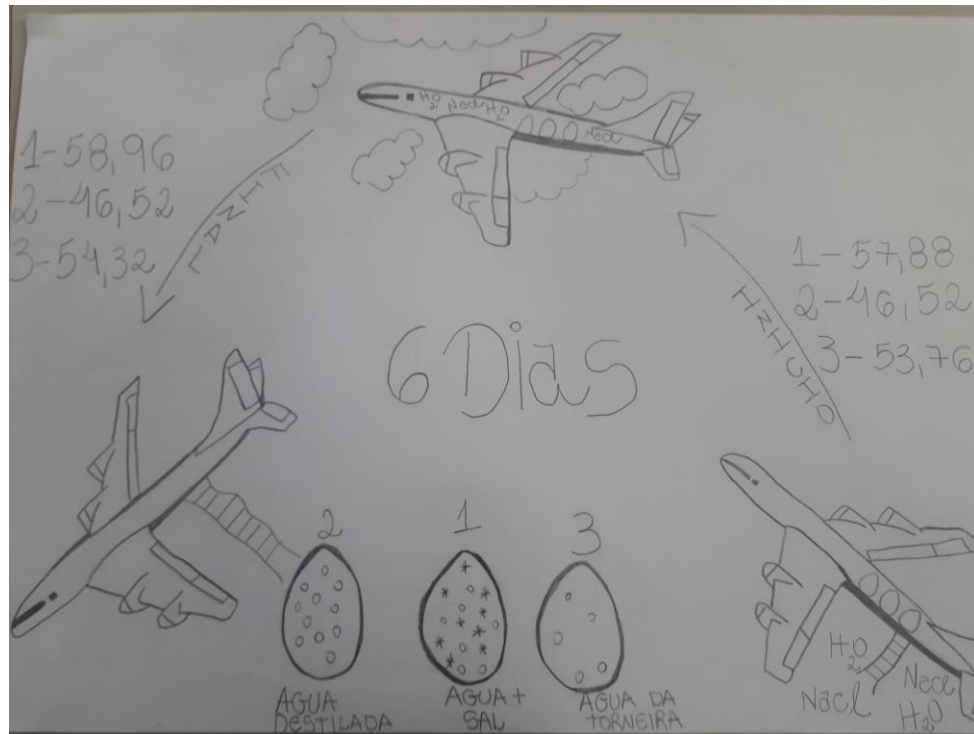
O texto apresenta em seu início das definições gerais do processo de osmose, com as relações entre ganho e perda de massa de água e as referidas concentrações em que se encontra. Ao final, há uma contradição, diz-se “o ovo que murchou estava em uma solução hipertônica que não houve alteração”, e aqui cabe

uma breve contextualização. Antes do início da aula, o Grupo 4 solicitou para não apresentar o trabalho, pois o experimento havia dado errado e não tiveram tempo de refazê-lo. Como os grupos que tiveram o tema da osmose necessitavam usar o laboratório de Biologia (e há regras de horário e acompanhamento de servidor responsável), a repetição foi inviabilizada. O docente argumentou que não havia problemas e que mesmo os resultados, mesmo errados, podem ser interpretados, pois trazem dados novos.

Só ao final da explanação, com a exposição da Analogia 1 (Figura 63), o docente compreendeu o erro, os estudantes esqueceram de aferir a massa do ovo no primeiro e no segundo dia, conforme o procedimento apresentado. Ao contrário, o experimento só foi conferido ao final de seis dias. Os ovos já estavam rachados e apodrecidos, e dessa forma, os dados obtidos não são exatos, pois não conseguiram mensurá-lo corretamente por causa do estado de putrefação. A discussão sobre a falha no experimento aparece nas entre as linhas 54 a 72 do Anexo D.

Por causa dessa falhada, o Grupo optou por não apresentar apresentar a Analogia 1. Ela foi apenas entregue e não aparece comentários a respeito dela no debate.

Figura 63 - Analogia 1

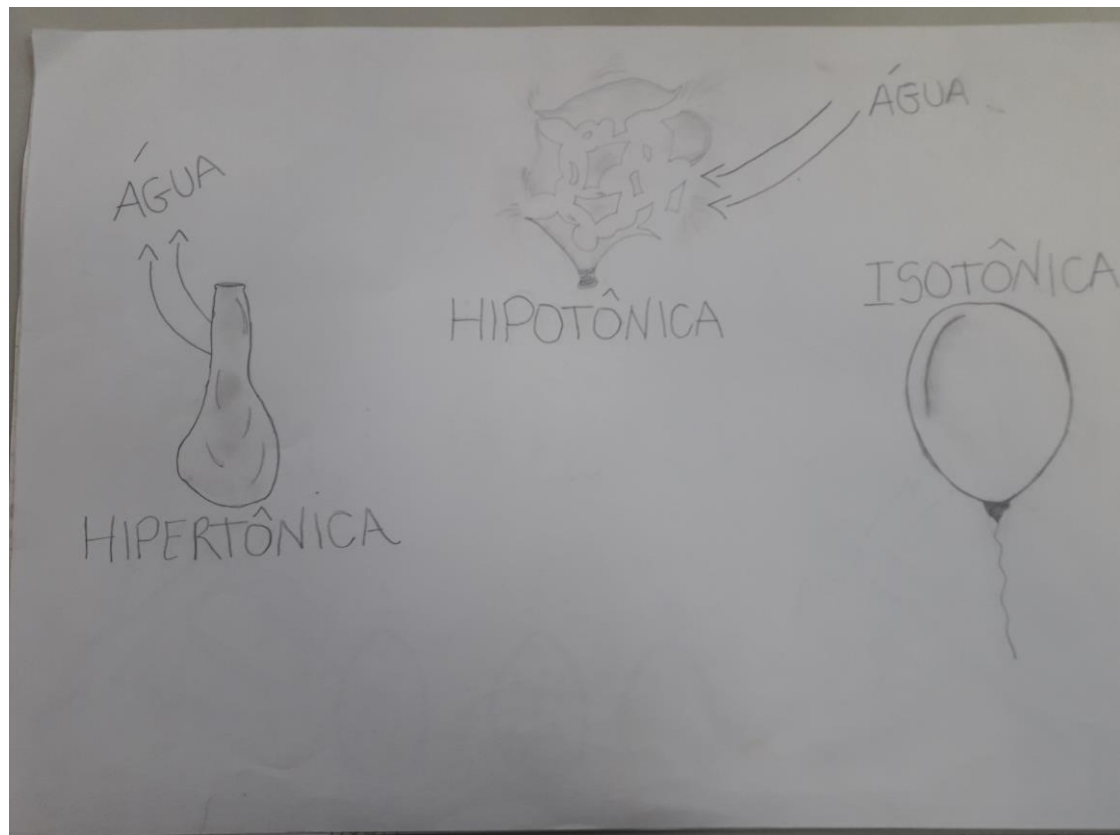


Fonte: Estudantes do Grupo 4

A Analogia um contém três ovos, numerados de 1 até 3. Há um embarque em um avião, que contemplam três ovos, água e sal de cozinha, apresentando massas iniciais no início. Ao final, temos as massas finais do experimento (processo que também ocorreu algum erro de mensuração, a massa do ovo 2 aparece idêntica), e ao final, temos ovos que desembarcam com diferenças, com água e sal sendo representado por círculos e asteriscos.

Para o debate, a segunda Analogia foi apresentada, mostrada na Figura 64. A analogia visual é composta por três balões em três situações diferentes. Há setas indicando a adição e a retirada de água de dois balões, com as respectivas legendas dos meios em que são comparados. Um terceiro balão é representado flutuando, com a legenda de meio "isotônico".

Figura 64 - Analogia 2



Fonte: Estudantes do Grupo 4

A apresentação da Analogia está transcrita na Linha 79, o Grupo abordou que o balão é uma comparação com uma célula, e segue a argumentação de que um balão com água em excesso faz com que ele estoure, um balão com a água retirada ficará murcho e um balão perfeito, “fechadinho”, não perde, nem ganha o solvente.

A seguir, vamos sumarizar as relações paradigmáticas e sintagmáticas do Grupo 4.

6.8 Síntese das relações paradigmáticas e sintagmáticas do Grupo 4

Quadro 13 - Relações paradigmáticas da categoria Concentração das Soluções

Paradigmas de Concentração das Soluções
<ul style="list-style-type: none"> - Figura 56 e Figura 57: Filmagem do experimento com a preparação as soluções - Figura 59 e Figura 60: legendas do vídeo com a indicação do preparo da solução hipertônica e hipotônica. - Figura 62: Definição de hipertônica, hipotônica e isotônica em texto contido no vídeo - Legenda do Vídeo: Relações entre ganho, perda e manutenção de massa, em comparação aos meios hipotônico, hipertônico e isotônico. - Figura 63: Círculos e asteriscos de solutos e solvente nos ovos da Analogia 1 - Figura 64: Legenda indicativa da Analogia 2 distinguindo os meios que os balões se encontram. - Transcrição do Debate na Linha 79: Explicação do Grupo a respeito da Analogia 2, os diferentes meios promovem movimento das moléculas de água e ocasionam mudanças físicas nos balões e células.

O conceito de Concentração de Soluções foi designado a partir das três soluções imprescindíveis ao experimento, apontando a situação particular, mas também promovendo generalizações dos conceitos a partir de definições que extrapolavam o próprio experimento, quando ocorreram as definições de solução hipertônica, hipotônica e isotônica. No campo do significado dos conceitos, houve uma imprecisão ao considerar a água da torneira uma solução isotônica, afirmação que não pode ser comprovada.

Na Analogia 1, o Grupo 4 indicou as diferentes concentrações a partir de símbolos contidos dentro dos ovos, aqui houve associações erradas quanto ao objetivo desejado. A analogia usa o avião como um marcador de tempo (viagem) e

um espaço onde o processo de osmose ocorreria, mas, quando verificados os ovos ao final da viagem, há um somente com água, outro com água e sal e um terceiro com pouca água e nenhum sal. Aqui verificou-se duas associações incorretas, a representação se deu dentro do ovo, e não no meio que os circunda, e, a diferença entre a solução com água destilada e água da torneira foi representada pela quantidade de água, não na quantidade solutos.

A Analogia 2 promove uma comparação entre o esvaziamento de balões e a quantidade de água. A analogia visual é boa para expressar a mudança de estado das células enquanto em soluções hipotônicas e hipertônicas. Durante o debate o grupo se esforçou em generalizar a situação desenhada, ao declarar que o movimento da água promove mudanças físicas nas células. Todavia, a analogia tem lacunas ao explicar a concentração isotônica, na Linha 79 do debate o integrante do grupo utiliza o termo ‘fechadinho’, indicando que compreende as soluções isotônicas como estáticas em relação ao seu meio, não em uma constante interação de moléculas que entram e saem por difusão.

Quadro 14 - Relações paradigmáticas da categoria Osmose

Paradigmas de Osmose
- Legenda do vídeo: <i>“Osmose menos concentrado para o mais concentrado”</i> Legenda do vídeo: <i>“O ovo ganhou água por osmose”</i>
- Figura 64: Setas indicam o movimento da água nos diferentes balões
- Linha 79 do debate: <i>“Passagem do solvente do menos concentrado para o mais concentrado”</i>

A osmose é sucintamente definida na legenda do vídeo, no texto escrito, não houve associação da água enquanto o solvente da osmose. Esse tipo de afirmação econômica é passível de erros, pois trata o processo da osmose como uma

“inversão” do processo de difusão, apenas invertendo de que essa é do meio mais concentrado ao menos concentrado. Em nenhum momento o grupo define quais são os princípios da osmose em termos de forças de atração eletroquímicas.

Na analogia 2, setas indicam o movimento da água entre os meios hipertônico e hipotônico. A preocupação externalizada pelo grupo foi com base na mudança do estado físico dos balões, para compará-los com as células. A analogia não explica quais forças provocam a entrada ou saída da água, portanto, a osmose aparece como algo dado, a analogia produzida não colabora com a sua explicação.

Quadro 15 - Relações paradigmáticas da categoria Membrana Semipermeável

Paradigmas de Membrana Semipermeável
- Figura 63: Limite dos ovos na imagem da Analogia 1
- Figura 64: Contorno dos balões na imagem da Analogia 2

Por fim, não houve definição formal quanto ao conceito de membrana semipermeável, temos paradigmas de membranas quando as representações do ovo e do balão possuem os contornos do desenho, mas não indicação com legendas de que se trata de membranas. A Analogia 2 também não colabora com a explicação do conceito, pois os balões são representados com a sua entrada e saída, fazendo com que somente uma parte do objeto promova a entrada e saída de matéria. A analogia não funciona bem para explicar o conceito de membrana semipermeável.

Quadro 16 – Sintagma do Grupo 4

A osmose é a passagem de água do meio menos concentrado para o mais concentrado, fazendo com que o ovo em meio hipotônica ganhe massa e o
(demora certo tempo, viagem de avião) (hipotônico)

(hipertônico)	(células, balões)	(água)
ovo em meio hipertônico percam massa		

O sintagma do Grupo 4 reflete baixa representação dos conceitos em formas variadas. O Grupo não utilizou imagens de apoio e outras formas de variações do discurso durante a condução do experimento, as representações foram restritas a filmar o experimento e apresentar a conclusões por escrito. Mesmo com pouca variação, o grupo conseguiu sumarizar alguns conceitos, indicando que o processo de osmose ocorre na situação particular (nos ovos) e em células.

As analogias visuais serviram como as principais fontes de variação das representações, duas analogias foram produzidas e expressaram tópicos relevantes dos conteúdos que eram essenciais.

6.8.1 Conclusões da Análise do Grupo 4

O Grupo 4 cumpriu os objetivos que foram propostos, na condução do experimento, na síntese dos resultados e na construção de analogias que suportassem a explicação. Ao analisar as representações, o vídeo foi limitado em mostrar apenas a preparação do experimento, as imagens não colaboraram com as conclusões. O texto escrito parafraseou de forma sintética os conceitos de meio de concentração e osmose, com principal destaque ao primeiro que recebeu mais detalhe. O conceito de Membrana Semipermeável não foi explicitamente apresentado.

O uso de variadas representações expressou a inconsistência de alguns conceitos, por exemplo, o conceito de Meios de Concentração foi corretamente descrito no vídeo a partir das legendas e também comentado durante o debate da

Analogia com desenvoltura pelo grupo, porém, são os ovos da Analogia 1 que contém os solutos e solventes, sem fazer relação com o meio. Também há um equívoco na quantidade de água em soluções hipotônicas e isotônicas, com mais água representada na solução hipotônica. Aqui, vê-se o papel das múltiplas representações e das analogias para promover aprendizagem e revelar incoerências conceituais.

Consideramos que o Grupo 4 obteve razoável apropriação dos conceitos de concentração das soluções e osmose, ambas foram apresentadas de forma sucinta, mas correta. Houve coordenação entre discutir o caso particular do experimento, pensar formas alternativas de representação nas analogias e elaborar generalizações durante o debate, de que o processo é comum a todas as células. O conceito de membrana semipermeável ficou subentendido durante o experimento, sem que ocorra citação sobre as propriedades do ovo, das membranas plasmáticas, em funcionar como barreiras seletivas. Durante o debate, um aspecto relevante foi a discussão gerada pela própria falha na obtenção de dados do experimento, a obtenção de dados propiciou a discussão a respeito de ética na ciência, para que os dados não sejam falsificados para “dar certo”.

Ao apontar que os estudantes manejaram razoavelmente os conceitos, acrescentando palavras próprias aos enunciados originais (VOLÓCHINOV, 2017), que parte dos conceitos transitaram entre os casos específicos do experimento e generalizações (VIGOTSKI, 2009), com uso de representações próprias a partir das analogias, considerou-se que o Grupo 4 cumpriu os objetivos propostos e se apropriaram razoavelmente dos conceitos propostos, em especial o de concentração de soluções e osmose.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Consideramos que a apropriação por parte dos docentes da perspectiva da multimodalidade faz com que um olhar mais preciso sobre a natureza das representações de dado conteúdo seja efetivado. O processo de elaboração das Unidades Didáticas, em que um inventário das representações dos conceitos a serem discutidos é executado pelo docente, é essencial para mapear o potencial de significação dessas representações e organizar os desafios representacionais que são propostos aos estudantes.

Ao propor atividades que permitam a expressão de representações próprias, como exposto no Capítulo 5, evidenciou-se a dispersão dos conceitos em múltiplas representações, em que o texto, a imagem, o tratamento da imagem, os gráficos e a linguagem verbal, e as diversas conversões desses registros semióticos, expressaram uma variedade de conteúdos, dos quais o docente pode extrair significados compartilhados e apresentar novas perguntas e desafios para refinar as representações.

É necessário destacar que os desafios representacionais nem sempre são compreendidos e executados na primeira abordagem, em vários momentos os desafios demandaram explicações adicionais para que a proposta fosse iniciada. De toda forma, percebemos um alto engajamento em *tentativas* de acompanhar o que foi solicitado, com chamadas individuais ao professor, para estabelecer um diálogo direto e questionador.

A apresentação dos experimentos cumpriu as expectativas. Ao situar os estudantes para um “público virtual”, em que havia maior liberdade de parafrasear,

utilizar imagens de apoio e analogias, obtivemos uma enorme variedade de representações para suportar a explicação. Ao mesmo tempo e em distintos níveis de aprofundamento, os conceitos-chave que deveriam ser abordados foram apresentados em suas definições apoiadas na literatura científica escolar, o que ilustra a viabilidade de provocar variações discursivas e simultaneamente manter rigor científico.

O uso do paradigma e do sintagma como categorias de análise para os registros semióticos é muito útil para verificar inconsistências na associação dos significados e na coerência nas expressões dos registros. Observamos definições que estavam corretas em sua legenda, mas mal representadas no processo de tratamento da imagem, de modo inverso, imagens adequadas por vezes não acompanhavam uma descrição correta. Houve o caso de ambos os vídeos, em que as descrições e representação dos fenômenos foram adequadas, mas as razões de sua ocorrência não eram adequadamente explicadas.

No caso específico dos vídeos, um dado curioso foi revelado. Como pode ser constatado pelas transcrições, o modo de interação verbal não foi muito frequente, com perguntas muito localizadas, sendo característica da sala questionar diretamente ao docente, no decorrer das atividades. Embora seja o mesmo modo verbal, a filmagem do experimento e a narração, demonstraram grandes variações discursivas, com estudantes engajados em narrar e explicar as analogias que produziram.

Ressalta-se que ao propor as representações próprias, um universo de significados é compartilhado e o docente necessita manejar com habilidade a adaptação, rejeição ou o refinamento do que foi produzido. Ao propor atividades com roteiro elasticamente definido, alguns significados compartilhados pelos estudantes

podem não ser notados imediatamente. No experimento 1, não dialogamos sobre o erro na representação das cadeias de aminoácidos e no Experimento 2 deixamos de debater as alterações na densidade do ovo nos distintos meios.

Julgamos que um bom campo de pesquisa é a construção de desafios representacionais multidisciplinares, com a química e a física, para que os aprendizes possam construir cadeias associativas mais ricas e a diversidade de representações. No decorrer da aula, utilizamos exemplos para ilustrar onde os fenômenos que envolviam o conceito. Seria oportuno desafiar os estudantes a representar esses fenômenos e estimular um intercâmbio entre representações macroscópicas e submicroscópicas, aumentando seu repertório científico.

Esperamos que esse trabalho contribua para a melhor utilização dos registros de representação semiótica dos conteúdos de Biologia Celular, apresentando um percurso que propiciou a variação da expressão dos discentes em multimodos de representação. Afirmamos que um ambiente que propicie expressão desses conceitos, abstratos e baseados em modelos, é possível com a estruturação de Unidades Didáticas, que: a) discutam explicitamente o papel das representações, com um diálogo sobre o potencial e a contingência de cada uma delas, incluindo aqui as fotografias de células; b) promovam desafios representacionais ancorados a temas cotidianos, para que haja um intercâmbio dos níveis macro, micro e submicroscópicos; c) induzam a variação da expressão por meio de analogias visuais e verbais.

Concluimos que orientar as atividades a partir da multimodalidade em conjunto com o uso de analogias revelou engajamento para a sua execução e genuíno compartilhamento de discurso.

REFERÊNCIAS

AINSWORTH, S.; GALPIN, J.; MUSGROVE, S. **Learning About Dynamic Systems by Drawing For Yourself and For Others**. In: EARLI. Budapeste, 2007. Disponível em:

<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.422.8535&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2019

AINSWORTH, S.; PRAIN, V.; TYTLER, R. Drawing to Learn in Science. **Science**, v. 333, n. 6046, p. 1096–1097, ago. 2011.

ALBERTS, B. et al. **Fundamentos da Biologia Celular**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.

ANDERSON, J. R. **Cognitive psychology and its implications**. 8. ed. New York: Worth Publishers, 2015.

AUSUBEL, D. P. **The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View**. 1. ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000.

AZIZ, A. S. et al. Assessment of learning urea cycle by “animated video” verses “OHP method”: perception of 1st BDS students. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 15, n. 2, p. 7, dez. 2017.

BAKHTIN, M. **Teoria do Romance I - A Estilística**. 1. ed. São Paulo: Editora 34, 2015.

BANDEIRA, M. E. F. O Uso das Analogias no Ensino de Ciências e Biologia. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 60–71, dez. 2009.

BARTHES, R. **O Óbvio e o Obtuso**. 1. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1990.

BARTHES, R. **Elementos de Semiologia**. 19. ed. São Paulo: Cultrix, 2012.

BEZEMER, J.; KRESS, G. Writing in Multimodal Texts: A Social Semiotic Account of Designs for Learning. **Written Communication**, v. 25, n. 2, p. 166–195, abr. 2008.

BOGOYAVLENSKY, D. N.; MENCHINSLAYA, N. A. Relação Entre Aprendizagem e Desenvolvimento Psico-Intelectual da Criança em Atividade Escolar. In: **Psicologia e Pedagogia: Bases psicológicas para a aprendizagem e desenvolvimento**. 4. ed. São Paulo: Centauro, 2007.

BRONCKART, J. P. **A atividade de Linguagem, textos e discursos: por um interacionismo socio discursivo**. 11. ed. São Paulo: Hucitec, 2004.

CLEMENT, J.; OVIEDO, M. C. N. **Abduction and Analogy in Scientific Model Construction**. Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching Philadelphia. **Anais...2003** Disponível em: <http://people.umass.edu/~clement/pdf/clement_nunez_paper.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019

COELHO NETTO, J. T. **Semiótica, Informação e Comunicação**. 7. ed. São Paulo: Perspectiva, 2007.

DARWIN, C. **A Origem das Espécies**. 1. ed. São Paulo: Martin Claret, 2014.

DEPECKER, L. **Compreender Saussure a partir dos manuscritos**. 1. ed. Petrópolis: Vozes, 2009.

DUARTE, M. DA C. Analogias na educação em ciências. **Contributos e Desafios. Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 7–29, 2005.

DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. **Science Education**, v. 75, n. 6, p. 649–672, nov. 1991.

DUVAL, R. **Sémiosis et pensée humaine: registres sémiotiques et apprentissages intellectuels**. 1. ed. Berne: Peter Lang, 1995.

DUVAL, R. Registros de representação semiótica e funcionamento cognitivo do pensamento. **Revemat: revista eletrônica de educação matemática**, v. 7, n. 2, p. 266, dez. 2012.

ECO, U. **Tratado Geral de Semiótica**. 4. ed. São Paulo: Perspectiva, 2002.

FANG, Z. The Language Demands of Science Reading in Middle School. **International Journal of Science Education**, v. 28, n. 5, p. 491–520, abr. 2006.

FARACO, C. A. O Estatuto da Análise e Interpretação dos Textos no Quadro do Círculo de Bakhtin. In: GUIMARÃES, A. M. M.; MACHADO, A. R.; COUTINHO, A. (Eds.). **O Interacionismo sociodiscursivo: questões epistemológicas e metodológicas**. 1. ed. Campinas: Mercado das Letras, 2007.

FONTANA, R. A. C. A Elaboração Conceitual: A dinâmica das interlocuções na sala de aula. In: SMOLKA, A. L.; GOÉS, M. C. R. DE (Eds.). **A Linguagem e o Outro no Espaço Escolar: Vygotsky e a construção do conhecimento**. 4. ed. Campinas: Papyrus, 1995.

FRANZONI, G.; LABURÚ, C. E.; SILVA MOURA, O. H. O desenho como mediador representacional entre o experimento e esquema de circuitos elétricos. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, n. 26, p. 11, jul. 2011.

GABEL, D. Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 4, p. 548, abr. 1999.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- GILBERT, J. K. Representations and Models. In: **Constructing Representations to Learn in Science**. 1. ed. Rotterdam: Sense Publ, 2013.
- GLYNN, S. M.; TAKAHASHI, T. Learning from analogy-enhanced science text. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 35, n. 1129–1149, p. 21, mar. 1998.
- GUALBERTO, C. L.; SANTOS, Z. B. DOS. Multimodalidade no contexto brasileiro: um estado de arte. **DELTA: Documentação de Estudos em Lingüística Teórica e Aplicada**, v. 35, n. 2, 2019.
- HAND, B.; MCDERMOTT, M.; PRAIN, V. (EDS.). **Using Multimodal Representations to Support Learning in the Science Classroom**. 1. ed. New York: Springer International Publishing, 2016.
- HUBBER, P.; TYTLER, R. Models And Learning Science. In: **Constructing representations to learn in science**. 1. ed. Rotterdam: Sense Publ, 2013.
- HUBBER, P.; TYTLER, R.; HASLAM, F. Teaching and Learning about Force with a Representational Focus: Pedagogy and Teacher Change. **Research in Science Education**, v. 40, n. 1, p. 5–28, jan. 2010.
- IFPR. **Resolução 50/2017. Estabelece as normas de avaliação dos processos de ensino-aprendizagem no âmbito do IFPR**. 14 de jul de 2017. Disponível em: <https://reitoria.ifpr.edu.br/resolucao-no-50-de-14-de-julho-de-2017>. Acesso em: 11 de jul de 2020
- IFPR - FOZ DO IGUAÇU. **Projeto Pedagógico do Curso Técnico em Meio Ambiente**. 01 de ago de 2016. Disponível em: <<https://foz.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2016/10/PPC-Meio-Ambiente-vers%c3%a3o-01-08-16.pdf>>. Acesso em: 5 fev. 2020.
- ISSING, L. J. Learning from pictorial analogies. **European Journal of Psychology of Education**, v. 5, n. 4, p. 489–499, dez. 1990.
- JEWITT, C. Multimodality and Literacy in School Classrooms. **Review of Research in Education**, v. 32, n. 1, p. 241–267, fev. 2008.
- KRASILCHIK, M. **Práticas no Ensino de Biologia**. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2004.
- KRESS, G. et al. **Multimodal Teaching and Learning: The Rhetorics of the Science Classroom**. 1. ed. London: Continuum, 2001.
- KRESS, G. **Multimodality - A social semiotic approach to contemporary communication**. 1. ed. New York: Routledge, 2010.
- KRESS, G.; LEEUWEN, T. V. **Reading images the grammar of visual design**. 2. ed. New York: Routledge, 2006.
- LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A.; SILVA, O. H. M. DA. Multimodos e múltiplas Representações, aprendizagem significativa e subjetividade: três referenciais

conciliáveis da educação científica. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 17, n. 2, p. 469–487, 2011.

LANCOR, R. Using Metaphor Theory to Examine Conceptions of Energy in Biology, Chemistry, and Physics. **Science & Education**, v. 23, n. 6, p. 1245–1267, jun. 2014.

LEMKE, J. L. **Talking science: language, learning, and values**. Norwood, N.J: Ablex Pub. Corp, 1990.

LEMKE, J. L. Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. In: MARTIN, J. R.; VEEL, R. (Eds.). . **Reading science: Critical and functional perspectives on discourses of science**. 1. ed. London: Routledge, 1998.

LEMKE, J. L. Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 3, p. 21, out. 2001.

LEMKE, J. L. The Literacies of Science. In: SAUL, E. W. (Ed.). . **Crossing Borders in Literacy and Science Instruction**. 1. ed. DE: International Reading Association, 2004. p. 33–47.

LEONTIEV, A. N. **Atividade e Consciência**. Disponível em: <<https://www.marxists.org/portugues/leontiev/1972/mes/atividade.htm>>. Acesso em: 2 jan. 2020.

LIN, H.; SHIAU, B.; LAWRENZ, F. The effectiveness of teaching science with pictorial analogies. **Research in Science Education**, v. 26, n. 4, p. 495–511, dez. 1996.

LINHARES, S.; GEWANDSZNAJDER, F.; PACCA, H. **Biologia Hoje**. 3. ed. São Paulo: Ática, 2016.

LOWE, R. Extracting information from an animation during complex visual learning. **European Journal of Psychology of Education**, v. 14, n. 2, p. 225–244, jun. 1999.

LURIA, A. R. **Desenvolvimento Cognitivo**. 6. ed. São Paulo: Cone, 2010.

MARCELOS, M. F.; NAGEM, R. L. Use of the “Tree” Analogy in Evolution Teaching by Biology Teachers. **Science & Education**, v. 21, n. 4, p. 507–541, abr. 2012.

MARCHESE, R. M. M. **Produção de Vídeos Didáticos Sobre a Bioquímica dos Carboidratos**. Brasília: Universidade de Brasília, 2011.

MARGULIS, L.; SAGAN, D. **What is Life?** 1. ed. New York: Simon & Schuster, 1995.

MARTHO, G. R.; AMABIS, J. M. **Fundamentos da Biologia Moderna**. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2015. v. 1

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. DE. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1248–1255, jul. 2013.

MATENCIO, M. DE L. M. Textualização, Ação e Atividade: Reflexões sobre a Abordagem do Interacionismo Sociodiscursivo. In: GUIMARÃES, A. M. M.;

MACHADO, A. R.; COUTINHO, A. (Eds.). . **O Interacionismo sociodiscursivo: questões epistemológicas e metodológicas**. 1. ed. Campinas: Mercado das Letras, 2007.

MAYR, E. **The Growth of Biological Thought**. 1. ed. Cambridge: Harvard University Press, 1982.

MAYR, E. **What Makes Biology Unique?** 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

MENDES, J. R. DE S. **O papel instrumental das imagens na formação de conceitos científicos**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2006.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 3, p. 25–46, 2011.

NIEBERT, K.; GROPENGIESSER, H. Understanding Starts in the Mesocosm: Conceptual metaphor as a framework for external representations in science teaching. **International Journal of Science Education**, v. 37, n. 5–6, p. 903–933, abr. 2015.

NIEBERT, K.; MARSCH, S.; TREAGUST, D. F. Understanding needs embodiment: A theory-guided reanalysis of the role of metaphors and analogies in understanding science. **Science Education**, v. 96, n. 5, p. 849–877, set. 2012.

NUCLEUS MEDICAL MEDIA. **Biology: Cell Transport**, 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/channel/UC85VW73bQLEjs_taFKP7TwQ>. Acesso em: 25 out. 2019

O MUNDO DA QUÍMICA. **Química na cozinha**. Disponível em: <<https://www.omundodaquimica.com.br/curiosidade/sabao>>. Acesso em: 20 out. 2019.

O'KEEFE, P. A. et al. Learning from multiple representations: An examination of fixation patterns in a science simulation. **Computers in Human Behavior**, v. 35, p. 234–242, jun. 2014.

PENN, G. Análise semiótica de imagens paradas. In: BAUER, M. W.; GASKELL, G. (Eds.). . **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som**. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 2002.

PRAIN, V.; TYTLER, R. Representing and learning science. In: TYTLER, R. (Ed.). . **Constructing representations to learn in science**. 1. ed. Rotterdam: Sense Publ, 2013.

RAPP, D.; KURBY, C. The “Ins” and “Outs” of Learning: Internal Representations and External Visualizations. In: GILBERT, J. K.; REINER, M.; NAKHLEH, M. B. (Eds.). . **Visualization: Theory and Practice in Science Education**. 1. ed. New York: Springer, 2008. v. 3.

RIGOLON, R. G. **O Conceito e o Uso de Analogias como Recurso Didático por Licenciandos de Biologia**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2008.

RIGOLON, R. G. Distinção entre analogia e metáfora para aplicação do modelo Teaching with analogies por licenciandos de Biologia. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 3, p. 481–498, 2011.

RODRÍGUEZ PALMERO, M. L. La célula vista por el alumnado. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 9, n. 2, p. 229–246, 2003.

SAUSSURE, F. **Curso de Linguística Geral**. 34. ed. São Paulo: Cultrix, 2012.

STITH, B. J. Use of Animation in Teaching Cell Biology. **Cell Biology Education**, v. 3, n. 3, p. 181–188, set. 2004.

TREAGUST, D. F. The evolution of an approach for using analogies in teaching and learning science. **Research in Science Education**, v. 23, n. 1, p. 293–301, dez. 1993.

TREAGUST, D. F. Analogies in Biology Education: A Contentious Issue. **The American Biology Teacher**, v. 59, n. 5, p. 282–287, maio 1997.

TREAGUST, D.; HARRISON, A. G.; VENVILLE, G. Teaching Science effectively with analogies: An approach for preservice and inservice teacher education. **Journal of science teacher education**, v. 9, n. 2, p. 85–101, 1987.

TREVISAN, M. D.; CARNEIRO, M. C. Uma Descrição Semiótica da Metáfora no Ensino de Biologia: Asserções sobre a Célula Animal. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 479–496, 2009.

TYTLER, R. et al. A Representations Construction Approach To Teaching And Learning In Science. In: TYTLER, RUSSELL et al. (Eds.). . **Constructing Representantions to Learn in Science**. Rotterdam: Sense Publ, 2013.

TYTLER, R.; PETERSON, S.; PRAIN, V. Picturing evaporation: Learning science literacy through a particle representation. **Teaching Science, the journal of Australian Science Teachers Association**, v. 52, n. 1, p. 12–17, nov. 2005.

TYTLER, R.; PRAIN, V.; PETERSON, S. Representational Issues in Students Learning About Evaporation. **Research in Science Education**, v. 37, n. 3, p. 313–331, 1 jun. 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. **Manual de aula de laboratório de Química dos Elementos - Sabões e Detergentes**. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/quimica/files/2015/10/LABORAT%C3%93RIO-DE-QU%C3%8DMICA-DOS-ELEMENTOS-QUI081-2017-SAB%C3%95ES-E-DETERGENTES-1.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2019.

VIGOTSKI, L. S. **Psicologia Pedagógica**. 1. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e Linguagem**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2009.

VIGOTSKI, L. S.; LURIIÁ, A. R.; LEONTIEV, A. N. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. 1. ed. São Paulo: Icone, 2005.

VIRTUOUS TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO. **Enzimas**. Disponível em: <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/quimica_vida/quimica11.php>. Acesso em: 15 out. 2019.

VOLÓCHINOV, V. **Marxismo e filosofia da linguagem**. 1. ed. São Paulo: 34, 2017. v. 1

WALDRIP, B.; PRAIN, V.; CAROLAN, J. Learning Junior Secondary Science through Multi-Modal Representations. **Electronic Journal of Science Education**, v. 11, n. 1, p. 87–107, 2006.

WELLS, G. **Learning and Teaching “Scientific Concepts”: Vygotsky’s Ideas Revisited**. . In: VYGOTSKY AND THE HUMAN SCIENCES. Moscou: 1994Disponível em: <<https://gpc-maths.org/data/documents/wells-scientificconcepts.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2020

WILBERS, J.; DUIT, R. Post-Festum and Heuristic Analogies. In: AUBUSSON, P. J.; HARRISON, A. G.; RITCHIE, S. M. (Eds.). . **Metaphor and Analogy in Science Education**. 1. ed. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. p. 37–49.

ANEXOS

9.1 ANEXO A – Transcrição da Aula de Estrutura da Membrana plasmática

1	Professor: Pessoal, um breve retrospecto que nós vimos, discutimos um pouco sobre a atmosfera da terra primitiva, de que o aumento do oxigênio foi devido à atividade de bactérias fotossintetizantes, e no finalzinho da última aula, começamos a discutir sobre como seria a natureza da membrana plasmática. E aí fizemos uma parênteses, mais ou menos no final da nossa última aula, que estávamos discutindo o que? Se vocês já haviam lavado louça alguma vez na vida, alguns responderam que sim, outros não, que pode ter visto só em filme, em tutorial do youtube, pode abrir depois "como lavar louça", e aí a gente foi ver quais eram os ingredientes necessários para lavar louça. Primeiro precisava da louça, que mais era necessário?
2	Alunos: A água. Professor: Que mais além da água?
3	Alunos: O sabão.
4	Professor: O sabão... E aí os outros itens, a sua mão, uma bucinha e tal. Então a pergunta era, por que se você lavar com água, a gordura não sai?
5	Alunos: Por que a água é polar e a sujeira era apolar.
6	Professor: Isso, falamos então que a gordura tem uma natureza apolar e a água?
7	Alunos: A água é polar.
8	Professor: E, a molécula do sabão?
9	Alunos: Ela é os dois.
10	Professor: Isso, ela é polar e apolar.
11	Professor: Então quando você coloca o detergente em contato com a gordura, a porção apolar do detergente reage com as moléculas de gordura, quando você liga a torneira e passa a água, você tem esse sabão que se associou com a gordura, e assim você lava louça. Fazer uma outra pergunta, se tiver só sal no seu prato, você precisa lavar com sabão?
12	Alunos: Não. (inaudível) Alunos: o sal é polar e se dissolve na água
13	Professor: Certo? O sal se dissolve na água, ele se ioniza. Professor Horário pessoal, estão chegando atrasado, precisam se sentir culpados mesmo e ficar triste. Então se você tem açúcar no prato, sal no prato, eles vão junto com a água, você não precisa usar sabão.
14	Professor: Então está faltando uma pergunta. "Professor: o que isso tem a ver com biologia, estamos falando de detergente, lavar louça e eu ainda não entendi porque você continua falando disso". Então vamos lá. Por que nós estamos falando de moléculas de sabão, polaridade e o que isso tem a ver com a nossa membrana plasmática. Essa é uma representação de uma

	molécula apenas de detergente. Essa molécula de detergente vai ter uma porção que é hidrofílica, o que quer dizer esse hidrofílica? Que tem atração, que se liga. E o que significa fóbico? Que se distancia.
15	Então a porção de sódio, está vendo que ela é carregada aqui, com sódio e oxigênio? Essa é a porção que vai se ligar com quem então? Com a água ou com a gordura?
16	Alunos: Com a água.
17	Professor: Com a água. Todo mundo concordando? Vem junto, porque se cai agora no mar, o navio vai distanciando, tem pouco bote salva vidas e vocês vão ficar boiando, então a parte polar se liga com a água e a parte apolar vai se ligar com quem? Alunos Com a gordura. Professor Ok isso? Uma porção apolar e uma polar.
18	Professor: Vamos fazer algo agora, vocês vão abrir o caderninho de vocês e vocês vão me entregar a folha depois. Vocês vão fazer uma série de pequenos desenhos nessa aula, então só se vocês forem fazer anotações da matéria, façam em outra folha. O exercício gente, é para imaginarmos as coisas e tentarmos representar no papel. Se não conseguir imaginar, tudo bem, não tem problema, mas é importante tentar imaginar porque quando a gente olha a animação a ideia é saber comparar bem. Então olha lá, imagina se eu pegar muitas moléculas dessa de detergente, uma porção de detergente, com as suas partes hidrofóbicas e hidrofílicas e a gente jogar num recipiente com água. Em um balde, em uma garrafa, não faz diferença. Como vocês acham que essas moléculas vão ficar uma do lado da outra? Em relação com a água?
19	A ideia agora é a seguinte, vocês vão ficar uns 5 minutos, para tentar imaginar isso, e você brinca de fazer um desenho, colocando a parte polar e a parte apolar. Professor Não entenderam?
20	Alunos: Não...
21	Professor: Tudo bem, vocês vão tentar desenhar algumas moléculas de detergente, peguem várias dessas de detergente e joguem na água, como vocês acham que elas vão ficar na água? Façam um exercício de tentar imaginar. Aqui é uma parte hidrofílica, o que a parte hidrofílica é?
22	Alunos Polar. Professor Então ela se aproxima ou se afasta da água?
23	Alunos Se aproxima.
24	Professor Essa parte é?
25	Alunos Apolar.
26	Professor Ela se afasta ou se aproxima?
27	Alunos Ela se afasta. Professor Se afasta. Então se a gente joga um negócio que se afasta da água, na água, como que elas podem ficar?
28	Professor: Se não conseguir desenhar, escreve, se não conseguir escrever, mas faça o exercício de imaginar (Muitos conversam ao mesmo tempo, inaudível)
29	Alunos: Professor, pode escrever algo junto ao desenho?
30	Professor: Claro, se te ajudar.
31	Alunos: O que é a bolinha?
32	Professor: A bolinha é a parte polar. (Muitos falam ao mesmo tempo, inaudível) (REFINAR A IMAGEM)

- 33 Então olhem, aqui estamos representando um monte de moléculas de detergente em um recipiente com água. Essa bolinha roxa está representando o que? (muitos alunos falam ao mesmo tempo, (incompreensível))
- 34 Alunos: A parte polar
- 35 Professor: polar, quando colocamos o detergente na água, a parte apolar se liga a outras partes apolares, formando uma estrutura que se chama micela, a parte apolar expulsa a água ao redor, ela não se liga com a água, então a tendência é que a água se afaste, e que forme uma estrutura que aqui vai ser hidratado pela água, porque é polar, vai ter afinidade com a água, e no interior não vai ter contato com a água, porque é uma porção apolar. Então, espontaneamente, quando você coloca uma molécula que tem polaridade e apolaridade no meio aquoso, vai formar uma micela. Deu para entender?
- 36 Alunos: Não.
Professor: Essa porção externa se liga com a água e a parte de dentro não. Sem água no centro. Se você entender isso, vai ajudar a entender a membrana plasmática.
- 37 Alunos: E se agitar?
- 38 Professor: Se agitar vai tender a romper essa ligação entre as moléculas, é uma ligação fraquinha e depois vai formar de novo quando parar.
- 39 Alunos: O detergente e água se misturam? Não entendi essa parte.
- 40 Professor: Em uma porção sim, ela vai ficar hidratada, mas tome um cuidado, o detergente não se dissolve, como o sal. O sal de cozinha se ioniza, separa o sódio e o cloro. Isso não vai acontecer com o detergente.
- 41 Alunos: Então a parte polar do detergente vai se misturar com a água?
- 42 Professor: Ela vai ficar para fora, ligada com a água. E a parte interna não, ela vai tender sempre a repelir a água.
- 43 Tudo bem aqui? Agora nós vamos dar um salto, agora nós vamos estudar os fosfolipídios, que é o nome de uma das unidades que forma a sua membrana plasmática. A membrana plasmática é formada por muitos, muitos fosfolipídios. São duas cadeias, essas representações são a mesma coisa, uma mostra as ligações entre os carbonos e a outra mostrando átomos ligados. São duas cadeias de lipídios e várias ligações com um fosfato no meio, faz então com que os fosfolipídios tenham essa porção polar e essa porção apolar.
A parte com fosfato do fosfolipídio, será hidrofílica ou hidrofóbica?
- 44 Alunos: Hidrofílica
- 45 E a parte da cadeia lipídica? Hidrofílica ou hidrofóbica?
- 46 Alunos: hidrofóbica
- 47 Professor: Hidrofóbica. Só para ficar claro e ninguém confundir. Você não tem detergente na sua membrana plasmática, tá bom? Você não tem detergente dentro de você, eu só usei um exemplo do detergente para a gente entender a natureza de uma molécula que tem uma porção polar e uma apolar. Essa molécula é um fosfolipídio e é uma unidade que vai formar a sua membrana plasmática. Então professor, eu tenho um monte de coisa dessa dentro de mim? Isso mesmo. Muitas coisas dessa. Não só você, todos os animais, plantas, fungos, bactérias e protozoários, possuem membranas celulares, então compartilhamos com toda essa galera a característica de ter membrana plasmática. Então se eu entender o funcionamento da

	membrana plasmática, ajuda a compreender o metabolismo e como vivem e morres as nossas células.
48	Vamos entrar no nosso segundo desenho legal, agora vamos falar das nossas células, e vamos entender os diferentes jeitos os diferentes modos de representar as nossas células. E aí vocês vão ter mais 5 minutos para fazer o desenho de: Como você já desenhou uma célula, como você já representou uma célula, que você já fez antes que você já aprendeu, como você acha que é, que coisas que têm dentro fiquem à vontade, façam um desenho simples. (REFINAR A IMAGEM)
49	Pessoal, vamos lá então, era só para fazer um desenho, faz tempo que vocês devem ter feito uma célula, mas é para lembrar o que vocês tinham aí na cabeça. Vamos fazer uma análise da imagem agora. Então, quanto vocês se deparam com o livro com essa imagem da célula (MOSTRANDO A IMAGEM DE CÉLULA), a primeira pergunta, que coisas que estão diferentes aí na célula que você desenhou para essas que estão aqui:
50	Alunos: essa é mais bonita. Alunos É uma célula inteira.
51	Professor O que quer dizer uma célula inteira? risos na sala.
52	Alunos: É que eu acho que a maioria só desenhou a membrana e o núcleo.
53	Professor tem as organelas nessa, isso é uma das coisas. Mas que mais que muda dos desenhos que vocês fizeram?
54	Alunos: nós desenhamos ela plana, mas ali está em três dimensões.
55	Professor Olha, bem interessante o que ela falou, vocês estão fazendo a célula plana e essa aqui está em três dimensões. E uma célula, ela é plana ou tem três dimensões?
56	Alunos: Ela tem três dimensões.
57	Professor ela tem três dimensões, isso é uma das coisas que é difícil da gente imaginar, nós estamos acostumados a representar a célula como duas dimensões. Mas agora podemos dizer, que legal Professor, gostamos das células, nós queremos ir lá no laboratório, vocês ficam todos felizes, lá no laboratório, e aí iremos preparar uma lâmina de célula e você enxergar isso na lâmina da célula (IMAGEM de célula no microscópio):
58	uma bola roxa dentro de uma bola rosa. Aí se você prestar bem atenção, esse desenho que vocês fizeram antes, comparado com essa imagem da microscopia de luz, parece o desenho de vocês?
59	Alunos: Não, Alunos: Parece, mas não é a mesma cor.
60	Professor: Não parece mais o desenho de vocês do que aquela imagem? Aí vocês acertaram então, acertaram o desenho do microscópio, está muito melhor do que aquele de três dimensões
61	(todos ao mesmo tempo) Alunos Não, Alunos Parece, mas não é a mesma cor.
62	Professor Não parece mais o desenho de vocês do que aquela imagem? Aí vocês acertaram então, acertaram o desenho do microscópio, está muito melhor do que aquele de três dimensões.
63	Professor Então gente, essa é uma questão na hora que vamos estudar as células e esse meio microscópico. Primeira coisa para ver, vocês conseguem ver a membrana plasmática?
64	Alunos: Sim, essa parte no limite rosa

65	Professor Aqui é a membrana plasmática?
66	Alunos Não.
67	Professor Dá para notar que isso é uma célula e esse é o núcleo? Dá para enxergar a membrana então? Você enxergar só o limite da célula, a membrana plasmática é muito, muito fina para que você possa enxergar na microscopia de luz. Então pra imaginar uma coisa a respeito do seu desenho, você está fazendo uma linha, mas você mesmo não consegue enxergar essa linha na microscopia de luz.
68	Professor Então esse é o segundo cuidado quando a gente olha no microscópio, a membrana plasmática não é visível na microscopia de luz, nós a representamos como uma linha, mas não conseguimos enxergá-la. porque ela é muito, muito fina, está perto de 6 a 10 nanômetro. Isso é 10 a -9, para quem gosta de matemática, um 10 com 9 zeros na frente.
69	Outra coisa importante então, porque na microscopia de luz, a célula vai aparecer assim como se tivesse duas dimensões?
70	Alunos: É porque a membrana é muito clara e quase transparente, então só vamos ver o núcleo que é mais escuro. e como não dá para ver a divisão da membrana, não dá para ver que ela tem três dimensões.
71	Professor Você falou algo muito interessante, olhando para essa imagem e analisando. Uma coisa, você precisa fazer um corte tão fino que permita a luz passar pelas células, quando a luz não passa através das células, vai ficar tudo opaco, vai aparecer como se fosse um pontinho preto, porque a luz não passou. Então essa é a primeira coisa.
72	A segunda coisa que ela falou que é interessante, é que o núcleo está aparecendo como se fosse roxo, mas o problema é que o núcleo não é roxo. Você precisa por um corante no núcleo, você põe no caso, uma base que tem a cor roxa, ela se liga no núcleo que é ácido, por conter muito DNA, ele consegue corar muito o núcleo, e por isso ele fica roxo. Se não tiver um pigmento na sua célula, natural, ou com um corante e você fazer o corte muito fino, a luz vai atravessar e você só vai ver tudo branco. E a gente vai brincar de fazer isso depois, vamos cortar uma célula de cebola, você vai ver a célula de cebola lá, e vai falar "Que legal professor", e depois podemos pingar iodo nas células de cebola, e o iodo, numa solução que chama lugol, ele consegue se juntar com o amido e dar uma cor alaranjada.
73	Professor: Quando olhamos uma célula vegetal, se você coloca uma célula de folha no microscópio, que tem cloroplasto, que dá a cor verde no vegetal, você não precisa ter corante, porque o cloroplasto já é verde, você não precisa corar nesse caso. Então beleza? As cores gente, elas podem nos enganar, quando olhamos aqui isso (a célula projetada) essas cores não são reais, elas só estão destacadas aqui para você ter contraste, não existem essas cores.
74	Com exceção, por exemplo, da nossa célula sanguínea, que dá a cor vermelha para o nosso sangue, se você olha as nossas células do sangue, as hemácias, vamos vê-las toda vermelha, então isso vai depender da célula. Então duas coisas importantes, uma, precisa fazer um corte muito fino e você vai enxergar isso no microscópio (Mostrando uma célula no Microscópio) e 2, tem que saber o corante que você está colocando, para saber o que você está vendo dentro da célula, se não vai ficar tudo transparente. E aí não tem muita graça. Então quando você vai para a aula prática entendendo o que você está vendo, porque isso requer uma interpretação, não adianta só achar que você vai ver no microscópio e está tudo bem.
75	Aluno: Então por exemplo na cebola você tem um certo tipo de corante e na célula tem esse outro tipo de corante para ele se ligar?

- 76 Professor: Exatamente, você precisa ver como é esse corante e onde que ele vai se ligar. Nós veremos com um pouquinho mais de detalhe depois, mas por exemplo, corantes básicos vão se ligar com os ácidos que têm no DNA, por isso que corou todo o núcleo, muito forte e o resto da célula não. Certo gente?
- 77 Professor: Agora vocês precisam dizer "Olha como o meu desenho estava legal", porque quando eu olho no microscópio, ele está muito mais parecido com o meu desenho e eu ganhei do livro. Mas tem que entender essas coisas, é muito pequeno, mas tem três dimensões, a gente corta muito, muito fino, para pegar poucas camadas de célula, e você não consegue olhar de lado para ver o volume da célula, mas tem que imaginar que essa coisinha pequenininha aqui, tem três dimensões. Você é um ser tridimensional, não como uma pintura egípcia, né? Então você tem três dimensões e tuas células tem três dimensões.
- 78 Vou mostrar uma outra imagem agora, isso já é microscopia eletrônica, ela utiliza um feixe de elétrons. E temos imagens muito menores. Isso são as vilosidades, das células do intestino. Ele é todo dobradinho assim para aumentar a área de absorção dos nutrientes que você come. Então isso aqui, essa linha, é a linha da membrana plasmática. Você consegue ver pelo menos uma porção mais espessa. Agora você diz assim, "mas professor, você mostrou uma imagem do fosfolipídio que tem uma cabecinha, uma perninha e a outra perninha dobrada, isso você não vai ver com esse nível de detalhe, nós sabemos que é daquele jeito por conta de outras técnicas indiretas. Isso é a membrana plasmática, percebam o citoplasma e o meio externo. E aqui prestem atenção nessa coisa, aparece como uma ou duas linhas?
- 79 Alunos: Duas linhas. Professor: Duas... e bem demarcadas? E isso é bem importante para vocês entenderem que a sua membrana plasmática é chamada de bicamada fosfolipídica. Então temos uma camada de fosfolipídio e outra camada de fosfolipídio, e a razão disso, vamos agora para outra representação, é um desenho, no nível molecular que esse se vocês olharem também no livro de vocês (IMAGEM DA MEMBRANA PLASMÁTICA).
- 80 Primeiro para não bagunçar a representação, esquece essas partes que são as proteínas de membrana, foquem só nos fosfolipídios agora. Conseguiu encontrar aí os fosfolipídios, onde é a parte polar? Qual é a parte polar?
Alunos: As bolas brancas.
- 81 Professor: Isso e onde está a parte apolar?
- 82 Alunos: A parte amarela.
- 83 Professor: Isso, a parte amarela é a parte apolar.
- 84 Professor: Olha agora, aqui é a parte exterior da célula e aqui é a parte de dentro da célula. O que tem na parte de dentro da célula? Qual a substância em maior quantidade no citoplasma?
- 85 Alunos: (Ninguém responde.)
- 86 Professor: Vou fazer a pergunta de outra forma, que já responde essa, qual a substância em maior quantidade no seu organismo?
- 87 Alunos: água!
- 88 Professor: Isso! Então os cromossomos, organelas, estão em meio aquoso. E o que tem na parte de fora? Água também. Então nossas células estão sempre em contato com água, no meio interior e no exterior, lembra que as reações químicas ocorrem em meio aquoso? Então precisa ter água dentro e fora.
E olhem agora, a porção apolar está em contato com a água?

- 89 Alunos: Não.
- 90 Professor: Fora da célula, parte polar, dentro da célula, parte polar, e as cadeias de lipídio estão como se fosse no "miolo" da membrana plasmática. Agora vamos juntar algumas coisas, qual o problema dessa imagem aqui se você imagina uma célula inteira. O que ela é ruim de representar?
Alunos: Tá só em um plano.
- 91 Professor: Isso, o que estaria faltando então? Alunos: Dá para imaginar que tudo isso deveria estar fechando a célula aqui embaixo? Esse desenho, que representa essa porção molecular, é a representação dessa linha aqui, olha. Mas é só linha? Não, é tudo isso e essa parte que foi cortada também. Tudo isso é a área da membrana plasmática. Imaginem como se fosse uma bola e toda essa área de superfície é a membrana plasmática. Tomem cuidado, que as vezes a gente olhe um desenho e ele não encaixa com o outro, nesse nível molecular, você vê os fosfatos, os lipídios, mas não vê o resto das células. Depende do que você está olhando a membrana plasmática. Agora vamos juntar algumas coisas, qual o problema dessa imagem aqui se você imagina uma célula inteira. O que ela é ruim de representar?
Alunos: Tá só em um plano.
- 92 Professor: Isso, o que estaria faltando então?
- 93 Alunos: Dá para imaginar que tudo isso deveria estar fechando a célula aqui embaixo? Esse desenho, que representa essa porção molecular, é a representação dessa linha aqui, olha. Mas é só linha? Não, é tudo isso e essa parte que foi cortada também. Tudo isso é a área da membrana plasmática. Imaginem como se fosse uma bola e toda essa área de superfície é a membrana plasmática. Tomem cuidado, que as vezes a gente olhe um desenho e ele não encaixa com o outro, nesse nível molecular, você vê os fosfatos, os lipídios, mas não vê o resto das células. Depende do que você está olhando.
- 94 A membrana plasmática envolve toda a célula então, ela tem certa capacidade de regeneração, ela pode ser religada. Essas 'bolotas" são as proteínas de transmembrana, e esses canais são específicos, há canais de sódio, potássio, cloro, então certas substâncias só vão conseguir entrar ou sair da célula a partir dessas proteínas. Agora vocês vão ter mais 5 minutinhos, para fazer um desenho. Vocês só vão desenhar um pedacinho da membrana plasmática, com a bicamada lipídica e com a proteína de transmembrana. Nós vamos estudar agora como se dá a entrada e saída de substâncias e daí vamos brincar um pouco com esse desenho de vocês.
Professor: Não precisar em perspectiva, façam em duas dimensões.
- 95 Nós vamos discutir uma coisa bem importante agora, para entender o tipo de molécula que entra e sai da membrana plasmática, compreendendo a natureza das moléculas e a membrana plasmática. Nós teremos moléculas que são polares e apolares. E teremos uma questão sobre o tamanho das moléculas. Tem moléculas que são tão grandes, que elas não irão atravessar a membrana plasmática, nem a proteína de membrana. E eu quero que vocês façam uma associação com a digestão de vocês. O que a digestão química faz, você quebra algumas ligações e faz com que você consiga absorver pelo seu intestino. De tudo que você se alimenta, uma hora vai passar pela membrana plasmática do seu intestino, nós temos uma digestão mecânica que diminuem as partículas e uma digestão química. Se você come batata, a batata tem amido que é o nome de um açúcar com centenas de moléculas de glicose, o que é a digestão química então? Você quebra as ligações dessa glicose e você absorve glicose pelo epitélio do seu intestino e põe pra dentro. Essa glicose cai na sua corrente sanguínea que o seu intestino absorveu. Depois vamos estudar isso com proteína, gordura, etc. Vamos dar um outro exemplo, você comeu um monte de milho, com a casquinha e tudo, quando você vai lá no banheiro

	depois você vê aquele milho saindo, e aí, você fez ou não fez a digestão do milho?
96	Alunos: Não... Professor: Você não fez a digestão. Essas coisas que a gente não digere normalmente aparece nas embalagens como "fibra alimentar". Se você quiser comer capim, vai passar pelo seu intestino e não vai acontecer digestão química. Você só vai fazer digestão de coisas que as suas enzimas podem digerir, que vamos aprender mais para frente.
97	Então além do tamanho, o que pode influenciar a entrada e saída pela membrana plasmática? Alguma ideia?
98	Alunos: A composição Professor: Que composição? Professor: Por exemplo, se uma molécula for polar, você acha que ela entra fácil ou não entra fácil. Você acha que ela conseguiria passar por esses lipídios? Alunos: Não...
99	Professor: Então aqui vai uma definição básica, moléculas polares são pouco solúveis, enquanto moléculas apolares são muito solúveis. Moléculas apolares passam facilmente pela membrana plasmática, enquanto que as polares dificilmente. Mas não podemos esquecer que precisamos combinar duas coisas, o tamanho e a polaridade e apolaridade.
100	O que estamos discutindo mesmo? Entrada e saída de substâncias da célula. O que influencia mesmo? Tamanho e polaridade da molécula. Precisamos agora entender um conceito conhecido como "difusão", que é um movimento do soluto, um movimento do que está dissolvido no solvente. Então se tem sal na água, a água é o solvente e o sal é o soluto, é o que está dissolvido lá. Então, na difusão, há uma tendência em ocorrer um movimento das moléculas no local de maior concentração para um local de menor concentração. Até que haja um equilíbrio do tanto de moléculas que vai para um lado e outro. Vamos dar um exemplo, essa sala está completamente fechada e eu coloquei fogo em um papel, esse papel tá soltando gás carbônico, não está muito concentrado esse gás carbônico aqui?
101	Alunos: Vai se espalhar. Professor: As moléculas não vão ficar paradas, vão se espalhar. Então olha aqui, se tiver algo mais concentrado do lado de fora da célula e passa pela membrana plasmática, a tendência vai ser entrar ou ficar de fora?
102	Alunos: Entrar na célula. Professor: Então a substância vai entrar até ficar em equilíbrio o que entra e sai. Imagina um caso reverso, há uma substância dentro da célula em maior concentração e ela passa pela membrana, qual vai ser a tendência?
103	Alunos: Sair. Professor: Sair, até entrar em equilíbrio de novo. Agora vamos falar de algumas substâncias. Vocês acham que a água passa fácil pela membrana? Alunos: Passa fácil. Professor: Mas ela é polar ou apolar? Alunos: É polar. Professor: Mas como ela passa pela membrana se ela é polar? É porque ela é muito pequena, então ela consegue passar por entre os fosfolipídios.
104	Vocês vão fazer na membrana que vocês desenharam, vocês vão escolher uma substância e desenhar o movimento dessa substância, se ela está entrando ou saindo, se ela passa pela membrana plasmática ou se passa pela proteína, e você escolhe a substância que você quer, por exemplo, você escolheu o álcool, aí você escolhe se ela passa pela proteína da membrana ou pelo meio da membrana plasmática e faz a maior concentração dentro ou fora da célula.
105	Vamos fazer desenhos que representem a difusão. (Proposta de Desenhos).
106	Professor: Estão fazendo? Alunos: Muitas vozes simultâneas. Aluno: Meu desenho está certo? Professor: Está legal o seu desenho, mas só te falar uma coisa, você vez um açúcar, só uma molécula, pergunta para o professor de química se é possível ter só uma molécula de açúcar, é muito difícil, faz mais de um para ter uma ideia de que tem mais açúcar fora.

- 107 (Outro Aluno): e o meu desenho, como está? Professor: Está legal, só vou falar a mesma coisa que falei para ele, você poderia fazer mais, já está demonstrando que há difusão, mas poderia fazer mais moléculas para demonstrar que está mais concentrado.
- 108 Aluno: e o meu? Professor: Ah que legal, que substância é essa? Aluno: Potássio Professor: E o potássio está passando por onde? (aluno não responde verbalmente, aponta a proteína de membrana).
- 109 Aluno: e o meu desenho? Professor: Sua membrana plasmática está muito boa, mas você não pode representar mais glicose aqui? Só para mostrar que está mais concentrado do lado de fora e aí mostrar que está entrando?
- 110 (inaudível) (muitos falam ao mesmo tempo)
- 111 Professor: Pessoal concentração agora, para fechar, vocês verão em movimento em uma animação, do que vocês desenharam aí. Rápido para fechar a aula (A animação é exposta). O vídeo inicia com pessoas felizes no shopping, estamos aumentando para o intestino, essas são as vilosidades do intestino, isso faz aumentar a área de absorção, está ampliando cada vez mais, e agora está mostrando as membranas plasmáticas, contínuas com várias células. Essas representações roxas são as proteínas de membrana, olhem essa enorme quantidade de moléculas aqui, algumas vão passar pelas proteínas de membrana e outras vão passar pelo meio da membrana plasmática. Olhem aqui, tem um açúcar indo e voltando, aqui mostra um lipídio passando direito, eles passam bem facinho por serem apolares. Aqui mostra o açúcar batendo na membrana plasmática e voltando, ele precisa se encontrar com um canal de membrana para conseguir entrar. Só indo um pouco mais a frente, aqui vemos o açúcar entrando pela proteína de membrana. Essa é uma representação, é próximo do desenho que vocês fizeram, mas agora mostramos em movimento. Tudo certo? Todos me entreguem a folhinha e até mais.

9.2 ANEXO B – Transcrição da Aula de Osmose

1	Professor: Galera então vamos nos situar. Na aula passada nos iniciamos o conteúdo de membrana plasmática e conversamos a respeito do transporte de substâncias pela membrana plasmática. Quais eram as duas maneiras que nós discutimos que as substâncias passam pela membrana?
2	Aluna 1:: Ela passa diretamente ou ela por um tubinho que eu esqueci o nome.
3	Professor: Pelo tubinho que ela esqueceu o nome, como é o nome do tubinho?
4	(incompreensível) vários murmúrios na sala
5	Professor: Eram as proteínas de membrana, isso mesmo, então temos as proteínas de membrana, que por ali vão passar algumas substâncias, sempre muito específicas, as proteínas de membrana aceitam então aceitam moléculas específicas, não são generalistas, então se é um canal de sódio, só vai aceitar sódio ou de potássio, ou de glicose e assim vai. Então elas têm uma alta especifica de a respeito do soluto que está atravessando. Usando aí os termos técnicos da coisa.
6	E a (nome da Aluna1) havia comentado que passava direto também, então pode passar pelo meio da membrana plasmática, pelo meio dos fosfolipídios, que é a outra forma que as substâncias podem passar. Dito isso, quais eram as substâncias que passavam diretamente pela membrana plasmática? Quais características essas substâncias têm?
7	Aluno1: Elas eram pequenas.
8	Professor: Então tem a ver com o tamanho.
9	Aluna2: Ou se elas eram polares ou apolares.
10	Professor: Exato, ou se elas eram polares ou apolares, muito bem. Por exemplo, a água. Ela é polar ou apolar?
11	Alunos: Ela é polar.
12	Professor: Isso, senão o professor de química vai ficar triste com vocês e chorar. Mas a água é grande ou pequena?
13	Alunos: Bem pequena.
14	Professor: Isso, então a água passa direto, mesmo a membrana plasmática sendo muito apolar por causa dos lipídios, a água é uma substância muito pequenininha, então ela passa direto. Aqui galera a gente vai entender as implicações biológicas muito, muito sérias. Temos que imaginar que as células não tem controle da água que entra ou que sai, isso só vai ser influenciado com concentrações que vão existir fora ou dentro dela, e isso tem a ver com o movimento da água que estudaremos hoje, que é a osmose. Por isso a água é o solvente universal dos seres vivos e a gente precisa desse equilíbrio iônico, da quantidade de sais e de água que temos no nosso corpo. Quando o pessoal quer fazer algum protesto, faz greve de fome, fica uns 40 dias sem comer, mas não dá para fazer greve de água, porque greve de água não iria durar 3 dias para um mamífero do nosso tamanho, que vai urinar, transpirar e perder água.
15	Uma substância que é polar, mas mesmo sendo pequena, não conseguia passar pela

	membrana plasmática.
16	Aluno: A glicose?
17	Professor: A glicose é um exemplo de um açúcar simples, só passa por proteína de membrana. Mas a glicose é uma molécula grande para a membrana, ela tem 6 carbonos, 12 hidrogênios e 6 oxigênios, ela é grandona, perto da água, que tem 2 hidrogênios e um oxigênio. Mas se pegarmos uma molécula que é pequena e muito polar, são os íons, todos.
18	Aluno: Ah, o cálcio, potássio, sódio, cloro.
19	Professor: Sim.... esses íons são todos pequenos e polares e muito especiais. Vão passar pelos canais de membrana, passar pelas proteínas de membrana. Existem uma série de funções biológicas e fisiológicas que esses íons regulam e que vamos discutir na aula de hoje. Então, sempre por canal de membrana. E o fato importante é o seguinte, se a substância passa por canal de membrana as células podem ter algum controle, algum disparo bioquímico que pode fazer com que o canal feche e impeça o fluxo livre desses íons, então alguma margem de controle pode existir. Fixa isso na cabeça porque é importante, que tem algumas outras moléculas que vão ser pequenas e apolares também, que não vão ter nenhum controle da célula, os exemplos eram dióxido de carbono, monóxido de carbono, oxigênio, essas moléculas passam livremente pela membrana plasmática. Sem muito problema. Certo? Tinha mais uma que passava bem facinho.
20	Aluno: Os lipídios.
21	Professor: Lipídios. O lipídio é muito apolar, então eles passam fácil pela membrana plasmática, por isso é fácil absorver gordura caso já tenha degradado as maiores moléculas.
22	Então é isso pessoal, se a gente conhece a natureza da membrana plasmática e essas duas coisas, tamanho das moléculas ou se ela é polar e apolar, sabemos como as substâncias são transportadas na célula. Ninguém tá viajando, todo mundo acompanhando o barco? Então tá bom.
23	O barco vai dar uma acelerada agora, então se alguém está boiando a gente joga o bote de salva-vida e tenta salvar o indivíduo. Então se você não está entendendo nada, cale-se agora ou pergunta de novo depois. Não tem problema.
24	Pessoal, vamos falar agora de dois outros tipos de transporte e vamos fazer um exercício semelhante ao da aula passada, então vocês vão pegar uma folha do caderno, destacar e fazer um desenho. O primeiro que vamos apresentar é o transporte ativo.
25	E agora, vamos dialogar um pouco como é o transporte ativo e depois vamos tentar representar isso, pensando na membrana plasmática e nos seus constituintes. Lembrando o seguinte, como era o princípio da difusão mesmo? pensando agora em concentrações. De que lado que ia dependendo a concentração o soluto, qual movimento que fazia.
26	Aluna: O lado que está mais vai para o lado que está menos.
27	Professor: Todo mundo escutou o que ela falou?
28	Alunos: Não.
29	Professor: Fala de novo então, mais alto

- 30 Aluno: A difusão é tipo, o lado que tem mais moléculas ou qualquer coisa, vai para o lado que tem menos, é tipo a teoria do calor, assim, o mais quente dá calor, energia, sei lá o quê, para um corpo que está mais frio.
- 31 Professor: A aluna misturou duas coisas, mas está legal isso aí, que tem a ver com matéria e energia, que é sobre termodinâmica também. O exemplo é válido.
- 32 Professor: Mas para fechar então, a difusão é a passagem do soluto para do meio mais concentrado para o meio menos concentrado. Ela falou das moléculas, tem mais moléculas de um lugar, a tendência é que essas moléculas se movimentem, elas são dissolvidas em alguma coisa e vão para o local menos concentrado, até que haja um equilíbrio, do tanto que entra e sai, até que fique igual. Demos exemplos como: se eu jogar um tanto de sal na garrafinha de água, a tendência vai ser que esse sal, do local que está mais concentrado, com o movimento das moléculas, vai se espalhar. Imagina quando estão fazendo arroz, jogam um tanto de sal numa parte do arroz, aquele sal vai se espalhar por todo o arroz, não é só um local que vai ficar salgado. Esse movimento é influenciado pelo calor, quanto mais quente, maior é a velocidade da difusão.
- 33 Se eu troco o local que está dissolvido. E eu começo aqui a queimar esse papel. Vai começar a liberar, dióxido e monóxido de carbono e tem uma maior concentração dele aqui nesse ponto, a tendência é que ela vai se dissolver no ar, se misturar e se espalhar. Ela sai do ponto mais concentrado nesse cantinho, até o menos concentrado e depois se equilibrar.
- 34 Então nessa ideia básica é, se existe mais glicose fora, qual será o movimento da glicose? Que vocês desenharam na aula passada?
- 35 Alunos: Ela vai entrar.
- 36 Professor: Se tem mais dióxido de carbono dentro da célula, qual vai ser a tendência?
- 37 Alunos: Vai sair
- 38 Professor: Isso, vai sair, passa livre pela membrana. Seja por canais ou pelo meio da membrana, o movimento vai depender da concentração, se está mais ou menos concentrado. Agora, dá um pause nisso na cabeça e tem que entender que o transporte ativo faz algo diferente. O transporte ativo vai gastar energia.
- 39 E o transporte ativo sempre vai tentar manter as concentrações diferentes. (Anotando no quadro). Ou seja, se tem uma molécula que está mais concentrado fora, a tendência vai ser que pelo transporte ativo, é que essa molécula fique ainda mais concentrado fora. Se tem uma molécula com alta concentração dentro, pelo transporte ativo, gastando energia, vai manter a concentração mais alta dentro.

- 40 Aí o que eu vou pedir para vocês imaginarem agora, que tipo de molécula a célula conseguiria regular por transporte ativo e como que ela poderia fazer isso? Manter a maior concentração fora ou maior dentro. Falando em outras palavras, será o inverso da difusão simples. Agora pensem duas coisas, qual o tipo de molécula, pensem nas moléculas que a gente viu, quais moléculas seriam mais fáceis de regular? E como que as células conseguiriam fazer isso?
- 41 Alunos: Começam a falar sobre o barulho da sala do lado, que estão chutando a parede.
- 42 Professor: Pessoal, vocês começaram a falar da parede e já esqueceram tudo. Lembrem das concentrações diferentes, dos tamanhos das moléculas, se eram polares ou apolares e como a célula poderia fazer isso.
- 43 Alunos: (Vários ruídos, conversam entre si)
- 44 Professor: Vamos lá pessoal, vamos discutir, concentrem aqui. Alguém fez algo, quer compartilhar?
- 45 Aluno: Eu pensei assim, se a membrana é polar dentro, uma substância polar, uma molécula polar vai ficar presa ali dentro e uma polar ela vai expulsar.
- 46 Professor: Então, o que vai influenciar é o tamanho da molécula e o tanto que ela é polar por exemplo a água, a célula consegue ter um controle?
- 47 Alunos: (alguns dizem "sim" e outros "não")
- 48 Professor: Tem como fazer transporte ativo com a água?
- 49 Professor: Não tem como, porque a água passa pelo meio da membrana celular, e em alguns locais, como no intestino e nas raízes das plantas há proteínas de membrana que ajudam a água a passar em maior velocidade.
- 50 Professor: E o oxigênio? Tem como ter transporte ativo com o oxigênio?
- 51 Aluno: Não... porque ele é apolar. E a glicose?
- 52 Professor: A glicose tem receptores diferentes. No intestino tem os dois, tem um receptor que absorve ativamente e ou por difusão facilitada. Mas do teu sangue para a célula é sempre por difusão facilitada.
- 53 Aluno: As substâncias só passam então pela proteína de membrana.
- 54 Professor: Isso, a célula consegue abrir e fechar essas proteínas de membrana, aí elas conseguem ter controle, mesmo contra o gradiente de concentração. Ela consegue com pouca substância para dentro, ficar com menos ainda, e o inverso também é válido, mesmo com maior quantidade de uma substância dentro da célula, ela consegue continuar absorvendo. Por exemplo, se precisa ter mais potássio dentro, ela mantém mais potássio ainda dentro da célula, mesmo que tenha uma menor quantidade no meio externo. Isso que o transporte ativo consegue fazer, ele consegue manter essa desigualdade de concentração por meio das proteínas de membrana.

55	Professor: Agora precisamos entender duas coisas. Qual o tipo de molécula? Com as moléculas polares e com as moléculas maiores. Um exemplo, a glicose é reabsorvida nos nossos rins e evita que ela vá para a urina, então a gente reabsorve glicose para que ela volte para a nossa circulação sanguínea. Temos alguns momentos então, a depender do local do corpo, pode ocorrer transporte ativo ou difusão facilitada.
56	Professor: Vamos falar de um exemplo clássico então do transporte ativo, a chamada bomba de sódio potássio.
57	Professor: Dê uma olhada então no vídeo, aqui está a molécula do ATP, essa é uma molécula produzida no processo de respiração celular, que nós vamos ver um pouco mais adiante. Quando vocês estudaram ecologia no ano passado, vocês estudaram os ciclos biogeoquímicos e a respiração. Esse ATP é uma das moléculas produzidas no processo de respiração.
58	Olha esse amarelinho, que parece um sol, aqui está sendo representado a molécula de ATP. Ela se encontra com a proteína de membrana, muda o formato do canal de membrana e permite que a molécula passe. Agora ela mudou aqui. o ATP se separa em ADP, adenosina difosfato e fosfato, liberando energia para mudar o formato da proteína de membrana. O vídeo mostra essa substância amarela, sódio, sendo jogado para fora. Olha a diferença do transporte ativo então, há muito mais substância amarela fora, e continua jogando ainda mais amarelo para fora, olha a substância vermelha, fica cada vez mais a substância vermelha dentro. O transporte ativo cria esse desnível entre a concentração.
59	Aluno: E por que ali está entrando? Ele não só joga para fora?
60	Professor: Por que tem outros canais que são de difusão simples, por isso ali está entrando sem gasto de energia.
61	Tudo bem pessoal? Mais alguma dúvida? Finalizamos então a parte de transporte de ativo.
62	Vamos começar o assunto de osmose então, um dos tipos de transporte. Para começar, antes de qualquer coisa, precisamos saber que a osmose tem a ver com água, com o movimento do solvente. Tudo bem? Só tem relação com o movimento de água. Então vai ter osmose do sódio?
63	Alunos: Não.
64	Professor: Então tem osmose da gordura? Não. Tem osmose da glicose? Não.
65	Uma das maiores dificuldades aqui é quando a gente confunde osmose com a difusão. Então tome com esse cuidado. Vamos lá. Como era a água mesmo, era polar ou apolar?
66	Alunos: Polar.

67	Professor: A água então, tem uma propriedade, que tem a ver com o seu tamanho e suas cargas elétricas, que é sofrer atração por outras moléculas que são polares. A água interage e é atraída por moléculas que são polares. Quem já colocou um pouquinho de água no sal, não parece que o sal absorve a água?
68	Aluno: Sim!
69	Professor: É por isso, a água vai ter uma grande atração elétrica por outras substâncias que são polares. Então, quais outras substâncias são polares? Açúcar é? Sim. Proteínas? Sim, também. Os Íons são polares? Sim, todos são polares. Todos exercem atração elétrica na água.
70	Professor: E a gordura, é polar?
71	Alunos: Não
72	Professor: Tem que falar um não mais forte.
73	Alunos: Não!
74	Professor: Isso, então a gordura tem alguma atração elétrica pela água? Alunos: Não!
75	Professor: Vamos agora fazer um desenho então. Vamos lembrar umas coisas. Por onde a água entra e sai da célula?
76	Alunos: Por toda a membrana plasmática.
77	Professor: Tem algum lugar especial?
78	Alunos: Não, é por toda a membrana.
79	Professor: Segundo a água tem uma atração elétrica pelas substâncias que comentamos, sal, glicose, proteínas. Então a pergunta é o seguinte, então vamos desenhar, em que condições a água sairia da célula e em que condições a água entraria na célula. Vamos tentar representar no desenho, a partir das condições que discutimos. Faça um desenho, tente representar, em que condições que a água sairia da célula ou entraria na célula.
80	Aluno: Pode explicar de novo professor.
81	Professor: Vamos lá, a água pode entrar e sair da célula, essas substâncias "chamam" a água, então tente desenhar, como poderíamos representar a água entrando ou saindo da célula e a relação com essas outras substâncias.
82	Alunos: (várias vozes ao mesmo tempo)
83	Aluno: O meu está certo, professor?
84	Professor: Lembra o que havia comentado, vamos estudar a osmose então é só a água, esquece o sódio se movimentando agora.
85	(várias vozes indistintas)
86	Professor: Gente, vamos lá então, todos concentrados. Vamos mostrar algumas animações que nos ajudam a compreender o processo. Aqui estamos mostrando uma difusão normal, passando o soluto de um lado para o outro, por difusão simples. Mas não é esse o processo que estamos vendo agora, a osmose é a passagem de água para um lado do outro da membrana.

- 87 Aqui temos um lado com maior concentração de açúcar e outra com menor concentração de açúcar. O que ocorre então? A atração elétrica do açúcar, faz com que as bolinhas azuis, que representam a água, se movam para o lado que tem a maior quantidade de açúcar. Então, qual era o correto, que vocês poderiam ter desenhado, é desenhar algo que atraia a água em maior quantidade em um dos lados da célula, e, a água se movimentando nessa direção. Deu para visualizar no esqueminha?
- 88 Professor: isso acontece muito no cotidiano, em coisas muito simples, quando você tempera a salada com sal e vinagre, que tem ácido acético, é bem polar. O que acontece com a salada depois de um tempo?
- 89 Alunos: Vai murchar, vai perder água.
- 90 Professor: Esse é o processo da osmose. Ela está perdendo água. O meio externo está mais concentrado que o total de carga elétrica que tem na própria célula dela, então ela vai perder água, e isso é incontrolável. Nas nossas próprias células já existem cargas elétricas que vão atrair a água. Nossas células tem muito DNA, que vai atrair a água, que é um tipo de ácido, que atrai água. As organelas têm um tanto de proteínas que também vão atrair a água, mas se, a quantidade de solutos, fora da célula for maior, a tendência vai ser que a célula tenha perda de água para o meio.
- 91 Professor: A partir daí podemos imaginar um monte de situações. Imagina que o sal entra na corrente sanguínea, suas veias são tubinhos com água dentro, o sal circulando no sangue vai atrair mais água das outras células e vai aumentar a sua pressão. Vai pressionar mais as suas veias e artérias. Essa é a sua "pressão", é a força do líquido que pressiona os vasos sanguíneos.
- 92 Professor: A osmose é importantíssima então para a nossa hidratação. Se você está consumido uma substância que é mais concentrada que você tem em suas células, você vai desidratar, vai perder água. Por isso se você está com sede, desidratado, não adiantar tomar Coca-Cola, a Coca é mais concentrada que seu sangue, você vai desidratar tomando Coca-Cola. Igual se você estiver perdido no mar, numa canoinha. Caso você tome água do mar, você vai desidratar. A quantidade de sal na água do mar é mais alta do que a do seu corpo. O nosso organismo sempre vai brigar com o ambiente, sempre estamos em desequilíbrio com o ambiente. Essas concentrações estão sempre alterando e a gente precisa repor.
- 93 Professor: Agora vamos aprender três nomes importantes, que já estão baseados no desenho de vocês. Podem completar. Os dois primeiros nomes são os conceitos de hipotônico e hipertônico. Esses dois conceitos sempre tem a ver com o meio. Peguem o desenho de vocês que a água saiu da célula. O meio que esta célula está é hipertônico. Mais concentrado do que? Que a tua célula. Quando você jogou sal na salada, o meio externo das células é hipertônico. Tudo bem?
- 94 Aluno: Explica de novo professor.

95	Professor: O hipertônico tem a ver com a comparação entre os meios. Então o seu desenho que saiu a água da célula, você colocou essa célula num meio hipertônico, tem alguma coisa com uma maior quantidade de cargas elétricas fora da célula. Então por exemplo, você colocou aí muito sódio fora, a água vai tender a sair. Tudo bem? O que vai acontecer com a célula então?
96	Aluno: Ela vai perder água.
97	Professor: Por consequência, o hipotônico é ao contrário. O que ocorre se a célula está num meio hipotônico?
98	Aluno: Ela ganha água.
99	Professor: Então a célula vai aumentar ou diminuir de volume?
100	Aluno: Ganhar!
101	Professor: Isso, vai ganhar. E no caso das células animais, ela vai ganhar água até estourar. Olha essa imagem, que está no livro de vocês. A célula ganha água e estoura e aqui ela perde água e murcha. Ah, esse é o motivo do porque não dá para tomar tanta água destilada. A água destilada é muito hipotônica, quando tomamos água, ela não é água pura, tem vários sais minerais dissolvidos.
102	Professor: O terceiro termo então faltando, quem pratica exercícios, podem tomar os "isotônicos", exemplo o Gatorade. Ele é um pouco salgadinho. O que vai ocorrer com os isotônicos então, você repõe água e sabe que você perdeu no exercício, você repõe a água e os sais e se hidrata, porque tem uma concentração semelhante ao que tem nas nossas células.
103	Aluno: Então o hipotônico é o equilíbrio entre os dois?
104	Professor: O isotônico.
105	Aluno: Ah, o iso, isso.
106	Professor: Quando está em equilíbrio de concentração, a tendência vai ser o tanto de água que entrar também sair, isso está em equilíbrio. A osmose também ocorre muito rapidamente, mudando a concentração, a célula ganha ou perde água muito rapidamente.
107	Professor: olha esse desenho no livro de vocês, aqui temos o desenho de uma hemácia, uma célula animal, em concentrações diferentes. Em meio hipotônico ela ganha água até estourar. Em meio hipertônico ela perde água e murcha.
108	Aluno: E lá em cima é o iso?
109	Professor: Sim, esse é o terceiro caso, de equilíbrio nas concentrações dos meios. Nas plantas, acontece algo diferente. Em uma situação hipertônica elas murçam, perdem água. Mas em uma situação hipotônica, as plantas tem uma outra coisinha, que é a sua parede celular. Essa parede tem celulose, um açúcar que é muito resistente. Essa parede celular faz com que a célula ganhe água e não estoure. Inclusive essa é uma situação que faz a planta manter a sua forma. Cada célula da planta pressiona a parede celular da célula do lado. Isso faz com que a planta fique rígida, por isso a folha fica estável. Por isso quando a planta tem pouca água a folha fica caída, porque afrouxa essa pressão que uma parede celular faz na outra. Você percebe que a planta está com pouca água quando percebe que ela está caindo. Tudo bem gente, alguma dúvida?
110	Fechamos então a aula de hoje.

9.3 ANEXO C – Transcrição da Aula de Enzimas

- 1 Professor: Vamos iniciar o tema da nossa aula a respeito de enzimas. Alguém lembra de ter escutado algo a ver com enzimas? Não? Alguém lembra algo?
- 2 Professor: Ninguém lembra? Então vamos definir alguns conceitos antes. Todos os organismos vivos, precisam de suas enzimas para as suas reações químicas. Elas são um tipo especial de proteínas. E o que a enzima faz que é tão especial para os organismos? Ela diminui a energia necessária para o início da reação química. Então observem esse gráfico, há um tanto de energia para o início da reação química. Sem a enzima, seria necessária uma maior quantidade de energia para iniciar a reação, no passo que na presença das enzimas, menos energia é necessário para a reação química ocorrer. Aqui é uma reação de combustão, está mostrando glicose, glicose transformando em energia química e também como produto dióxido de carbono e água. Essa é a reação de combustão. Se você jogar fogo no mato, essa é a reação que ocorre, se você engolir amido que tem na batata, também essa é a reação que vai acontecer nas suas mitocôndrias.
- 3 O que vai ocorrer que é importante então. Imagina o seu organismo. E agora você está comendo celulose, comendo papel. Nós não temos o complexo enzimático para degradar a celulose. Você não tem a enzima que vai diminuir a energia de ativação da reação química. Nós não temos essa possibilidade. Mas se você colocar fogo no papel, ele vai queimar e entrar em combustão. Porque há bastante energia para iniciar a reação química. O que as enzimas fazem então? Que essa energia de ativação seja menor. Elas mudam a estrutura espacial das moléculas e faça que as reações tenham menor energia de ativação. No caso da lactose, que foi comentado na outra aula, justamente isso, a ligação da enzima lactase, com o açúcar lactose, faz com que a reação química ocorra e ocorra a degradação dela, tem a ligação entre os dois açúcares rompida.
- 4 Essa é uma imagem esquemática de como uma enzima age. Tem uma enzima e um substrato, o açúcar. A lactose liga na enzima, ela modifica a forma desse substrato e esses substratos facilmente é dividido no seu produto. Por exemplo, se fosse a lactose isso, seria dividida em glicose e galactose, os açúcares simples da lactose. A gente rompeu a ligação do oligossacarídeo. É a enzima continua aqui. Ela pode fazer outra ligação, com outro substrato, ela não é consumida no processo, sendo possível de ser utilizada outra vez. Tudo bem?
- 5 Vocês estão excessivamente quietos hoje, não sei o que está acontecendo.

Abram o caderno então que nós vamos desenhar umas coisas agora.
- 6 Professor: Olha lá, faça um recipiente e agora vamos brincar de degradação da lactose. Para entender o funcionamento das enzimas. A lactose era o que mesmo? Quando açúcares tem na lactose.
- 7 Alunos: Dois!
- 8 Professor: Dois, isso mesmo.
- 9 Professor: Então, representa, faça vários açúcares como duas bolinhas ou dois quadradinhos. Só façam uma legenda do lado. Aí usem outra legenda para fazer lactase. Feito todo mundo? Então olha aí, estamos representando a enzima e a lactose. E agora, o que vai acontecer, se a lactase, encontrar nessa solução, imagina que há água nesse recipiente, com a lactose? Aí vocês vão imaginar isso aí e fazer um segundo desenho. O que ocorre se elas se encontrarem?

Alunos: elas vão se separar.

10 Professor: Se separar em quê?

11 Aluno: Em dois açúcares.

12 Professor: Isso, então desenhem isso aí. E aí pessoal, desenharam? Quando elas se encontram, que açúcares são formados?

13 Alunos: Glicose e galactose.

14 Professor: Isso mesmo.

15 Aluno: Tem que fazer os dois separados, então?

16 Professor: Isso, pensa num jeito de representar isso separado. Pode ser outra cor, outra forma.

17 Aluno: O meu está bom?

18 Professor: Vamos colocar mais lactases só, você só desenhou uma.

19 (Vários alunos falando ao mesmo tempo).

20 Professor: Quando a lactose encontra a lactase, ocorre a reação química.

21 (Vários alunos falando ao mesmo tempo)

22 Professor: Pessoal, então por fim, a lactose e a lactase se separam. Os dois açúcares simples são formados, galactose e glicose, e isso faz com que nosso intestino consiga absorver esses açúcares. Vamos para um segundo desenho agora.

23 Professor: E se a gente entende como as enzimas são influenciadas, a gente consegue compreender várias relações ecológicas e de como os organismos vivos se comportam. Imagina gente, que essa solução aqui, estivesse a 20 graus de temperatura. Agora, vamos imaginar que essa solução está aquecendo, para uma temperatura de, 38 graus.

24 Alunos: Elas vão ficar agitadas.

25 Professor: Vão ficar agitadas... Se elas estão agitadas, o que vai acontecer?

26 Aluno: Elas se encontram mais rápido?

27 Professor: Exatamente, elas se encontram mais rápido.

28 Aluno2: Não entendi.

29 Professor: Acontece que com o aumento da temperatura, as moléculas se agitam mais e a reação química fica mais rápida. Isso por exemplo explica o porquê o alimento na geladeira demora mais para estragar. As bactérias que degradam a comida também têm enzimas. Elas precisam das enzimas delas para fazer as suas reações químicas dela. Se ela está num ambiente que a agitação das moléculas está muito mais baixa, quer dizer que a probabilidade das enzimas dela encontrarem o que ela precisa digerir também é mais baixa. Se ela está em um ambiente mais quente, o metabolismo dela está mais rápido, então as enzimas delas estão se movendo mais rapidamente e aumenta a probabilidade de elas se encontrarem.

30	Essas são diferenças de aves e mamíferos, para répteis e anfíbios. Nosso corpo fica com a temperatura por volta de 36 graus. Então como fica nosso metabolismo? Sempre alto. Isso não acontece com os lagartinhos, se está muito frio, cai a velocidade das reações enzimáticas, a velocidade dele de digestão e de todas as reações do corpo dele, vai cair de velocidade. Por isso eles podem ficar mais quietinhos e a demanda de energia também é menor. Por isso uma cobra consegue comer muita comida de uma vez e ficar um bom tempo parada. Nós não. As aves e os mamíferos, nós temos um corpo que precisa manter um metabolismo alto, por isso temos uma alta demanda de energia. Justamente porque a reação enzimática não pode parar de acontecer.
31	Professor: Então representem agora as moléculas mais agitadas.
32	(muitos alunos falam ao mesmo tempo)
33	Professor: E agora, nesses minutinhos que faltam, tem que fazer apenas mais uma coisa. É a última explicação e que tem a ver com o trabalho do abacaxi.
34	Professor: Então vamos o seguinte, se está numa temperatura mais baixa, por exemplo 20 graus, elas estão menos agitadas. Se a temperatura sobe, para perto de 40 graus, a velocidade aumenta e é mais fácil de ocorrer as reações químicas. Só que, a partir do momento, em que a temperatura sobe a mais de 40 graus, a grande maioria das enzimas, e eu falo maioria porque tem algumas bactérias super especiais que vivem em temperaturas muito altas, próximas de vulcões. Nessa temperatura, as enzimas desnaturam, elas são destruídas, elas perdem a sua função.
35	Agora, para acabar a aula. Façam um gráfico, bem simples, com os eixos velocidade da reação e a temperatura. Para entender o seguinte, quando a temperatura está mais baixa, como está a velocidade da reação
36	Alunos: Baixa
37	Professor: E conforme a temperatura sobe?
38	Alunos: Sobe a velocidade da reação.
39	Professor: E quando chega em 40 graus?
40	Alunos: Destrói a enzima, começa a cair.
41	Professor: Coloquem no eixo X a temperatura e no eixo Y a velocidade da reação.
42	Aluno: Não entendi professor.
43	Professor: Vamos lá, o seu primeiro potinho, não estava em uma temperatura mais baixa?
44	Aluno: Sim
45	Professor: Conforme aumentou a temperatura, o que ocorreu com a velocidade? Subiu ou desceu?
46	Aluno: Subiu.
47	Professor: E quando chega em 40 graus, continua subindo?
48	Aluno3: Não, ela cai.
49	Professor: Isso aí.
50	Aluno4: Professor, em 40 graus, o que acontece com a reação?
51	Professor: A enzima é destruída, a reação vai parando de acontecer e caindo a velocidade.
52	Aluno: Olha, o meu professor.
53	Professor: Não estava uma temperatura mais baixa no primeiro pote? Depois não sobe?

54	Aluno: Sim.
55	Professor: E o que ocorre perto de 40 graus?
56	Aluno: Desnatura, mas eu não sei o que é isso.
57	Professor: A enzima é destruída, então a reação para de acontecer. Por isso ela começa a cair. É por esse motivo que a temperatura destrói as nossas células, perto dessa temperatura ocorre a destruição das nossas proteínas. Aluno: Sim.
58	Pessoal, então tudo certo? Todos fizeram um aumento da atividade enzimática conforme a temperatura aumenta e depois uma queda mais rápida depois de 40°C? Alunos: Sim!! Professor: Então tem alguma dúvida? Nossa aula se encerra por aqui.

9.4 ANEXO D – Transcrição do Debate das apresentações

1	Fim da apresentação do Vídeo (aplausos)
2	Grupo 1
3	Professor: Pessoal, legal. Vocês estão com a imagem da analogia aí? O que vocês fizeram?
4	Integrante do Grupo: Precisa explicar?
5	Professor: Sim, vamos lá. Explique aqui o que vocês fizeram.
6	Integrante do Grupo: Tá, esses tijolos, essa parede, seria como se fosse a gelatina, e aqui a gente tem o abacaxi cru tirando esse tijolinhos da gelatina, é o que acontece ali, o abacaxi tem uma enzima e que quando se junta com a gelatina ele quebra os aminoácidos que faz com que a gelatina endureça, então a gelatina não endurece por causa da enzima.
7	(aplausos)
8	Professor: Um abacaxi forte então quebrando o muro. Gente e aí, o que vocês acharam do vídeo delas?
9	Alunos: Muito bom. Muito bom.
10	Professor: Entenderam então o processo? Por que a gelatina com o abacaxi cozido então não tem ação?
11	Integrante do Grupo: Por que quando é cozido o abacaxi ele perde essa enzima que quebra os aminoácidos.
12	Professor: Certo, qual o nome, mais assim, bonito, assim, técnico disso? O que acontece quando a enzima é muito aquecida, ou uma proteína? O que é esse "perder função"?
13	Integrante do Grupo: Tem uma desnaturação.

14	Professor: Isso, tem uma desnaturação das proteínas, então se elas são muito aquecidas elas perdem a função. Dá para ver que esse era um dos gráficos da prova, certo? Parte dos que vocês tinham que explicar tinha a ver com isso. Há aumento da atividade enzimática com aumento da temperatura, chega numa certa temperatura, é o máximo da atividade enzimática, só que dali para frente, aquela atividade baixa, justamente porque ela é desnaturada, ela perde a função, ela perde a forma, tem que imaginar que a enzima é um monte de aminoácidos ligados, assim como as proteínas. As enzimas são um tipo especial de proteínas. E essas ligações desses aminoácidos são rompidas, a maioria delas próximas de 40 graus. Joinha então?
15	Palmas para o grupo. Tem mais um grupo da gelatina agora, só para a gente discutir tudo da gelatina e depois tudo do ovo.
16	Início do Grupo 2
17	Professor: Pessoal, vamos deixar que eles expliquem o vídeo. O que é essa enzima perdida que aparece no vídeo de vocês?
18	Alunos: Quando ela é cozida.
19	Professor: Cozida... seja como falamos de um outro jeito, quando ela é cozida?
20	Alunos: Que a enzima é desnaturada.
21	Professor: Só tomem cuidado com esse perdida porque senão parece que ela saiu de lá
22	Alunos: Isso, que saiu voando.
23	Professor: Isso, parece que aqueceu e ela foi embora. Aluno: Professor, mas você disse que era para usar uma linguagem mais simples
24	Professor: é essa ideia mesmo, era isso que precisava fazer. Só não esqueçam que a função pode ser perdida, mas as subunidades da enzima continuam lá, os aminoácidos não evaporam, eles ainda estão lá.
25	Quer falar sobre o desenho de vocês?
26	Alunos: Tá, aqui no desenho esses aqui são os aminoácidos e aqui é a gelatina. Aí a gelatina tinha uma conexão com os aminoácidos, que deixava ela sólida.
27	Professor: Essa conexão é tipo um amor?
28	Alunos: É, aí quando apareceu o abacaxi e piscou.
29	Professor: Mas espera, tem esse amor mesmo com ela quebrando a outra, porque a enzima quebra a proteína.
30	Alunos: Sim, mas aí o abacaxi piscou e ela se apaixonou. Tá daí o abacaxi chegou e quebrou a conexão entre a gelatina e os aminoácidos e acabou se tornando líquida.
31	Professor: Viu, não é igual ao outro. Alguém tem alguma dúvida? Professor: Vou perguntar uma coisa para vocês. Por que a gelatina feita normalmente, qualquer gelatina que vocês façam. Por que a gelatina fica com essa consistência quando ela é feita? Parecendo que a água sumiu dali.
32	Aluno: Por que o colágeno suga essa água para ele?
33	Professor: Tem a ver com isso, mas com assim sugar?
34	Aluno: Por que as moléculas de colágeno estão unidas?
35	Professor: Isso... vamos dar uma refletida. Vocês lembram da imagem da molécula do colágeno? Alguém pesquisou isso?
36	Aluno: Não...

37	Professor: Então tem que imaginar assim (professor desenha no quadro), a molécula do colágeno é uma tripla hélice, com várias unidades de aminoácidos. Aí, quando vão fazer a gelatina, do que ela é feita mesmo?
38	Aluno: De cartilagem de boi.
39	Professor: Isso mesmo. Aí pegam essa cartilagem, que é algo muito duro de comer. E aí você mói essa cartilagem e retira a água. Então você tem esse monte de colágeno lá. Aí você coloca esse colágeno na água e aquece a gelatina. Por que precisamos aquecer? Um monte de aminoácidos que tem no colágeno vai desfazendo as suas ligações e quando há o resfriamento as ligações vão se refazendo, e o colágeno vai sendo reestruturado com água no meio das ligações, com água ficando entre as moléculas de colágeno, hidratando.
40	O que ocorre com a bromelina? A enzima degrada a ligação dos aminoácidos, impedindo que a água fique no meio da molécula tridimensional. Por isso a gelatina fica com essa aparência líquida, você continua com os aminoácidos diluídos.
41	Vocês chegaram pesquisar para que a bromelina é usada? Na indústria, coisa do tipo?
42	Professor: Se você coloca suco de abacaxi na carne, ela fica mais mole, a bromelina é usada como amaciante de carne. Se deixar um dia no suco de abacaxi, mesmo uma carne dura, pode ficar mais macia.
43	Aluno: E porque o abacaxi é tão azedo?
44	Professor: é por causa dos ácidos que eles têm, dão esse sabor azedo.
45	Fim da Apresentação do Grupo 2
46	Professor: Muito bom! (muitos falam inaudível). Qual é o desenho então? Vamos lá gente! Início da Apresentação do Grupo 3
47	Integrante do Grupo: então gente, não sei se vocês prestaram atenção no vídeo, a gente falou que o ovo 2 e o 3 que era da água destilada e da água da torneira, eles sofreram o mesmo processo, ou seja, eles ganharam mais água, a massa dele aumentou mais porque eles estavam ambos hipertônicos em relação ao meio em que se encontravam, só que tem uma pequena diferença entre eles também, que o ovo 3 que está na água da torneira, ele já apresenta uma concentração mais parecida de sais dentro e fora dele, então era para ele ter ganhado menos água, era pra massa dele não ter aumentado tanto em relação com a água destilada, e o da água da torneira ganhou mais massa. Uma das explicações que o professor deu é que o ovo estava rachado, então foi mais fácil de entrar água.
48	Professor: Na verdade é um mistério... a água destilada era para ter ganho mais, só que você pode ter diferença dos ovos, da constituição dele, o destilador pode não estar tão bom assim, vai ver o destilador está enferrujado, algum íon também está na água e ele não está tão diferente da torneira.
49	Integrante do Grupo: tá aqui na metáfora a gente fez um campo de futebol, cada lado do campo representa um dos lados ou um dos meios, aqui seria dentro do ovo e aqui fora do ovo, esse desenho a gente fez representando o primeiro ovo que seria o ovo que está na água com sal, aí tipo o jogador dos times água que estão aqui, vão passar para o outro lado, para ajudar os amigos deles, os parceiros deles, que tão meio que lutando, enfrentando mais inimigos que estavam aqui, então vai fazer com que eles percam massa.
50	(aplausos da turma)

51	Professor: Ficou bem legal. Grupo, só falar uma coisa com vocês, e todos prestarem atenção nisso, não só com eles. Por que razão a água vai até o meio mais concentrado?
52	Alunos: (muitos murmuram ao mesmo tempo, inaudível)
53	Professor: ó, é só uma coisa, um jeito de explicar que normalmente aparece, só para vocês tomarem cuidado, tinha até aparecido isso naquela primeira prova. A água não vai para o meio mais concentrado porque ela precisa diluir, não tem nenhuma intencionalidade entende, como se ela tivesse preenchendo espaço vazio ou coisa do tipo, as substâncias polares, elas vão ter cargas elétricas que atraem a água, é um fenômeno puramente químico, aí quando vocês explicaram daquele jeito, que elas tinham mais espaço vazio e elas preenchiam ou algo assim, não tem a ver com isso.
54	Início da Apresentação do Grupo 4
55	Professor: O que houve no seu experimento? Porque você viu que eles não colocaram a massa dos ovos
56	Aluna do Grupo: Então, assim, deu errado nosso experimento porque nós deixamos 6 dias.
57	Professor: Mas o que acontece, quais foram os resultados?
58	Aluno do Grupo: Então o da água destilada, não perdeu nem ganhou, e da água com sal e da torneira os dois ganharam. Nenhum deles perdeu, então... não teve como identificar.
59	Professor: O da água da torneira ganhou também?
60	Aluno do Grupo: O da torneira também ganhou.
61	Professor: Da torneira não foi o terceiro recipiente, que perdeu?
62	Aluna: Sim professor, só que eu fui ver o resultado e eu anotei errado. A gente alterou.
63	Professor: Não pessoal, não precisa parecer que deu certo. O que aconteceu mesmo?
64	Aluno: Ele ganhou e a água destilada era para ter ganhado e ficou a mesma massa. E o da água com sal também ganhou massa.
65	Professor: Tá, vocês não alteraram para dar certo, né?
66	Aluno: Não... deu errado mesmo.
67	Professor: Tá, vocês só tinham errado. Olha uma coisa, é bem importante discutir os erros, porque esse é o jeito de construir ciência, fazer ciência não é a busca pelo resultado correto que você já sabe de antemão, mesmo o erro, ele é difícil de ser explicado, entendeu? Eu não sei explicar porque esse ovo com essa água com sal ganhou massa. Não tenho a menor ideia. Temos que explicar o que aconteceu.
68	Alunos: Ele continuou a mesma coisa.
69	Professor: E a outra coisa que aconteceu? Como ele estava depois de 6 dias?
70	Aluno: Podre.
71	Professor: Então o que é o ovo estar podre? Vocês aí do meio ambiente.
72	Aluno: Os decompositores estão agindo.
73	Professor: Então olha lá, se tem fungo decompondo lá, gente, presta atenção, isso é importante, mesmo numa questão dessa dá para a gente aprender refletindo um monte de coisa. Se o fungo está lá agindo, o que está acontecendo com a massa desse ovo?

74	Alunos da sala: Está diminuindo.
75	Professor: Por que está diminuindo?
76	Aluno: Por que está sendo degradado
77	Professor: Isso, o fungo está degradando, faz respiração celular e a massa vira dióxido de carbono. Por isso esse experimento de osmose, precisa ser de um dia, mesmo o experimento sendo em 6, tem coisas que podemos aprender. Então isso é fazer ciência gente, não é inventar o dado lá, torturar o número, bater no número, a até dar o resultado certo. Tem gente que é antiético na ciência e faz isso, se procurar notícias sobre fraude na ciência, de pessoas que falsificaram dados para que simplesmente seja aprovado o que ela queria, são vários os casos.
78	Professor: Vamos explicar a analogia então
79	Aluno: Então, tem esses 3 termos, hipotônico, hipertônico e isotônico, esses três termos são comparativos, ou seja, o hipertônico é o exterior que está hipertônico à célula, que estaria hipotônica. Então, aqui, demonstrado por um balão, isotônico não perdeu nem ganhou, então é um balão perfeito, fechadinho. A hipotônica o exterior está menos concentrado que o interior, então as moléculas vão para dentro e incham o balão até alcançar o seu limite e estoura. A hipertônica, ou seja, o exterior está mais concentrado que a parte de dentro, e as moléculas vão para fora, murchando assim o balão. E eu esqueci de explicar um negócio, da passagem do solvente, do menos concentrado para o mais concentrado. E aí seria isso, comparando com o balão.
80	Professor: Mais algo gente? Terminamos as apresentações!