



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS:  
BIOQUÍMICA TOXICOLÓGICA

**Vanessa Aina Person**

**DESAFIOS NO ENSINO DE BIOQUÍMICA DAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS:  
CONCEPÇÕES, EXPERIMENTAÇÕES E METODOLOGIAS DE ENSINO**

Santa Maria, RS

2023

Vanessa Aina Person

**DESAFIOS NO ENSINO DE BIOQUÍMICA DAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS:  
CONCEPÇÕES, EXPERIMENTAÇÕES E METODOLOGIAS DE ENSINO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito obtenção do título de **Doutora em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica**.

Orientador: Prof. Dr. João Batista Teixeira da Rocha

Santa Maria, RS  
2023

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Person, Vanessa Aina  
DESAFIOS NO ENSINO DE BIOQUÍMICA DAS MEMBRANAS  
BIOLÓGICAS: CONCEPÇÕES, EXPERIMENTAÇÕES E METODOLOGIAS DE  
ENSINO / Vanessa Aina Person.- 2023.  
99 p. ; 30 cm

Orientador: João Batista Teixeira da Rocha  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de  
Pós-Graduação em Ciências Biológicas: Bioquímica  
Toxicológica, RS, 2023

1. Ensino de Bioquímica 2. Conceitos científicos 3.  
Significação conceitual 4. Membranas biológicas 5.  
Experimentação I. da Rocha, João Batista Teixeira II.  
Título.

sistema de geração automática de ficha catalográfica da unsm. dados fornecidos pelo autor(a). sob supervisão da direção da divisão de processos técnicos da biblioteca central. bibliotecária responsável paula schoenfeldt vatta cma 10/1728.

Declaro, VANESSA AINA PERSON, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

VANESSA AINA PERSON

**DESAFIOS NO ENSINO DE BIOQUÍMICA DAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS:  
CONCEPÇÕES, EXPERIMENTAÇÕES E METODOLOGIAS DE ENSINO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito obtenção do título de **Doutora em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica**.

Aprovada em 11 de abril de 2023

---

**João Batista Teixeira da Rocha, Doutor (UFSM) - Videoconferência  
(Presidente/Orientador)**

---

**Daniel Mendes Pereira Ardisson de Araújo, Doutor (UnB) - Videoconferência**

---

**Elgion Lucio Da Silva Loreto, Doutor (UFSM) - Videoconferência**

---

**Maria Rosa Chitolina, Doutora (UFSM) - Videoconferência**

---

**Pâmela Billig Mello Carpes, Doutora (UNIPAMPA) - Videoconferência**

---

Santa Maria, RS

2023

*A expansão do universo, a deriva das placas tectônicas, a evolução das espécies, a estrutura e reatividade molecular são todos fenômenos científicos que não estão disponíveis para a experiência direta. [...] Mas talvez mais do que outras ciências, **entender a química [bioquímica] baseia-se em dar sentido ao invisível e intocável** (KOZMA; RUSSEL, 1997, p. 949[tradução e grifos nossos]).*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço minha família por me apoiar, torcer por mim, pelo amor e carinho demonstrado nesse período.

Meu Pai Vilmar e à minha Mãe Iracema pelo apoio incondicional, pelas palavras de força, de motivação e por acreditarem sempre em mim;

Ao Cristian, meu noivo, amigo, parceiro, por sempre me apoiar em cada decisão, por estar ao meu lado mesmo nas horas que precisei me distanciar, pela paciência e pelo carinho.

Ao meu irmão Fabio, minha cunhada Débora e a mais nova integrante da família Maria Antonella, pelo apoio.

Ao meu orientador Professor Dr. João Batista Teixeira da Rocha pela acolhida e discussões, por despertar em mim um olhar mais crítico e reflexivo sobre os processos de ensino e de aprendizagem.

Aos colegas do Laboratório de Bioquímica da UFSM, aos professores e a secretária do PPGBtox.

À banca por ter aceitado participar dessa defesa e pelas contribuições.

Aos estudantes e professores que aceitaram participar da pesquisa.

À CAPES e a UFSM pelo apoio financeiro e institucional.

## RESUMO

### **DESAFIOS NO ENSINO DE BIOQUÍMICA DAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS: CONCEPÇÕES, EXPERIMENTAÇÕES E METODOLOGIAS DE ENSINO**

**AUTORA:** Vanessa Aina Person

**ORIENTADOR:** João Batista Teixeira da Rocha

**DATA E LOCAL DA DEFESA:** 11 de abril de 2023, Santa Maria.

Aprender conceitos e fenômenos científicos pode ser desafiador, especialmente por apresentarem uma linguagem específica e porque muitos processos não são possíveis de visualização a olho nu. Esta tese buscou investigar as estratégias pedagógicas que visam atenuar as limitações e dificuldades de aprendizagem no ensino de bioquímica e posteriormente dedicou-se ao estudo das membranas biológicas, resultando em dois artigos e um manuscrito. O referencial teórico que perpassa esta pesquisa é de cunho histórico-cultural, com interlocuções entre estudos vigotskianos e a teoria da atividade de Leontiev. A presente pesquisa tem uma abordagem qualitativa em que os instrumentos de análise de dados foram baseados a partir de questionários e outros materiais produzidos pelos estudantes. A análise dos dados ocorreu com base na Análise de conteúdo. No primeiro estudo foram identificadas as modalidades didáticas utilizadas para ensinar Bioquímica no Brasil e, porque estas modalidades podem ser consideradas motivadoras de ensino e de aprendizagem. Foi realizado um estudo bibliográfico em que a maioria das pesquisas descreveu processos ativos de ensino, apontando para uma tendência focada no aluno como protagonista da aprendizagem. O segundo estudo investigou as concepções de alunos de graduação e pós-graduação sobre membranas biológicas e seus conhecimentos sobre os modelos que evoluíram ao longo da história recente das Ciências Biológicas. Os resultados revelaram que os alunos conhecem o modelo de membrana descrito por Singer e Nicolson, publicado em 1972, mas desconhecem a existência de outros modelos de membranas biológicas. Nossos achados sugerem que o conhecimento sobre membrana biológica seja ensinado de forma não mecânica, incluindo os aspectos críticos e históricos que impulsionaram a evolução dos modelos afim de desencadear uma aprendizagem com significado. Para finalizar, o manuscrito descreve a proposta e o desenvolvimento de uma atividade experimental que pode ser realizada tanto nas instituições de ensino como nas residências dos alunos, utilizando materiais baratos e de fácil acesso, com a finalidade de desenvolver a significação conceitual meio da experimentação. Nossa análise indica que é possível acionar o significado conceitual de fenômenos bioquímicos que ocorrem em membranas biológicas a partir de observações macroscópicas e inferências por meio da experimentação.

**Palavras-chave:** Ensino de Bioquímica; Conceitos científicos; Significação conceitual; Experimentação.

## **ABSTRACT**

### **CHALLENGES IN TEACHING BIOCHEMISTRY OF BIOLOGICAL MEMBRANES: CONCEPTIONS, EXPERIMENTS AND TEACHING METHODOLOGIES**

**AUTHOR:** Vanessa Aina Person

**ADVISOR:** João Batista Teixeira da Rocha

Learning scientific concepts and phenomena can be challenging, especially because they present a specific language and because many processes are not possible to visualize with the naked eye. This thesis sought to investigate the pedagogical strategies that aim to mitigate limitations and learning difficulties in the teaching of biochemistry and later devoted itself to the study of biological membranes, resulting in two articles and a manuscript. The theoretical framework that permeates this research is of a historical-cultural nature, with interlocutions between Vygotskian studies and Leontiev's theory of activity. This research has a qualitative approach in which the data analysis instruments were based on questionnaires and other materials produced by the students. Data analysis was based on Content Analysis. In the first study, the didactic modalities used to teach Biochemistry in Brazil were identified, and why these modalities can be considered motivating for teaching and learning. A bibliographical study was carried out in which most of the research described active teaching processes, pointing to a tendency focused on the student as the protagonist of learning. The second study investigated the conceptions of undergraduate and graduate students about biological membranes and their knowledge about the models that evolved throughout the recent history of Biological Sciences. The results revealed that students know the membrane model described by Singer and Nicolson, published in 1972, but are unaware of the existence of other models of biological membranes. Our findings suggest that knowledge about biological membranes is taught in a non-mechanical way, including the critical and historical aspects that drove the evolution of models in order to trigger meaningful learning. Finally, the manuscript describes the proposal and development of an experimental activity that can be carried out both in educational institutions and in students' homes, using cheap and easily accessible materials, with the aim of developing the conceptual meaning through experimentation. Our analysis indicates that it is possible to trigger the conceptual meaning of biochemical phenomena that occur in biological membranes from macroscopic observations and inferences through experimentation.

**Keywords:** Teaching of Biochemistry; Scientific concepts; Conceptual meaning; Experimentation.



Sumário	
1. INTRODUÇÃO .....	10
1.1 APRESENTAÇÃO .....	10
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
1.3 PROBLEMÁTICA.....	13
1.4 OBJETIVOS .....	17
1.4.1 Objetivo geral.....	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1 O ensino de Ciências e a experimentação .....	18
2.2 O estudo das Membranas Biológicas: uma perspectiva histórica .....	19
2.3 Níveis de organização e a compreensão conceitual .....	23
3 METODOLOGIA E RESULTADOS .....	24
Artigo 1 .....	25
Artigo 2 .....	43
Artigo 3 .....	58
CONCLUSÃO .....	93

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

Ao escrever as palavras iniciais da minha tese, depois de um longo período de observações, reflexões e inquietações sobre o ensino e aprendizagem das Ciências, e em especial das Ciências Biológicas/Bioquímica, quero deixar registrado que o estudo aqui apresentado ocorreu em um período muito singular e inesperado.

Ao final do meu primeiro ano do doutoramento (2019), recebemos a notícia da existência de um novo coronavírus (SARS-cov-2) altamente transmissível que acometeu a população mundial causando síndrome respiratória aguda grave, resultando em mortes, hospitais lotados, medo e insegurança. A situação forçou o fechamento das instituições de ensino, bem como outros ambientes e tornou a elaboração deste estudo um processo solitário e desafiador, no qual o processo de interação social cedeu espaço exclusivo ao acesso remoto. Diante dessa situação, muito do que eu havia idealizado não pode se concretizar, no entanto, apesar das dificuldades enfrentadas me sinto privilegiada em ter conseguido chegar até aqui.

Outro fator que destaco é a escolha pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica da Universidade Federal de Santa Maria-RS (PPGBtox/UFSM), o que torna a elaboração deste estudo pioneiro no programa. Esta é a primeira tese da linha de pesquisa “*Educação em Ciências: Processos de Ensino e Aprendizagem na Escola e na Universidade*” defendida no PPGBtox/UFSM e abre caminhos para novas pesquisas na área da educação em ciências, ciências biológicas e bioquímica.

Pesquisar educação e correlacionar a um conhecimento específico é realmente muito complexo e desafiador. Talvez seja esse o motivo de não termos muito engajamento nessa linha de pesquisa no programa. E essa talvez seja minha maior inquietação: pensar a possibilidade de tornar o conhecimento significativo a partir do momento que aspectos relacionados com a educação estão inseridos no aprendizado de conhecimentos específicos.

Assim, procurei sintetizar ideias e argumentos construídos ao longo de minha formação acadêmica, que esteve voltada a estudos e pesquisas sobre o desenvolvimento cognitivo humano, que apesar de serem do século passado ainda são contemporâneas e considero essencial. Em consonância com a Teoria da Atividade de Leontiev (1978, 1985) e a

abordagem histórico-cultural, este trabalho compreende a formação dos indivíduos a partir de processos mediados pela interação social, instrumentos e signos (VIGOTSKI, 2007).

Diante desta perspectiva, entendo a necessidade, enquanto professora e integrante da sociedade, de criar espaços formativos que visam desenvolver nos estudantes a habilidade do pensamento crítico e reflexivo, buscando a significação conceitual em sala de aula.

Ao tomar como referência as ideias de Leontiev (1978), compreendo que a aprendizagem se efetiva no momento em que o indivíduo sente necessidade de aprender, ou seja, quando está motivado e se coloca em movimento na atividade de estudo (PERSON, 2018). Entendo que ensinar é uma forma de relação humana e um processo que está em constante movimento, o qual merece atenção e cuidado, principalmente através do papel do professor, que a meu ver não deve ser apenas o de transmitir conhecimento, mas de mediar e construir conhecimento juntamente com os estudantes. Em especial, entendo ser fundamental compreender a necessidade da significação da linguagem e da necessidade de cuidado com o uso de modelos no processo de ensinar e aprender Ciências (DAVIDOWITZ; CHITTLEBOROUGH, 2009).

A partir destes apontamentos, compreendo que para tornar o extenso conhecimento das Ciências, e em especial das Ciências Biológicas/Bioquímica, em entendimento todo esse conhecimento deve ser relacionado e organizado de forma eficiente. Como a Bioquímica envolve conceitos nos níveis de organização macroscópico, microscópico e submicroscópico e é altamente dependente de representações externas e linguagem simbólica (ANDERSON et al., 2013; JOHNSTONE, 1991, 2000; SCHÖNBORN; ANDERSON, 2006b), fica evidente a necessidade de metodologias de ensino que favoreçam o processo de significação conceitual fazendo ligações entre conceitos científicos e diferentes níveis de representação (STRØMME; MORCK, 2020).

Defendo a ideia de que a experimentação baseada na resolução de problemas pode ser uma importante ferramenta didática que ajuda a compreender melhor fenômenos complexos. Em contraste com as abordagens de acompanhamento usuais para o ensino de aulas práticas de Bioquímica, a instigação da observação, pensamento crítico e interpretacional e solução de problemas podem ser mais eficazes na geração de significado conceitual (BARROWS, 1996; FOLMER et al., 2009; LOPES et al., 2011).

Esta pesquisa visou investigar e propor meios que possibilitem a aprendizagem de conceitos científicos através de correlações entre o mundo microscópico subjetivo e o mundo

macroscópico objetivo, levando-se em consideração um tema central do ensino de Ciências que é o estudo das células a partir da compreensão conceitual das membranas biológicas (MBs) e suas correlações bioquímicas.

Assim, para socializar os resultados derivados deste trabalho, a tese está estruturada em dois artigos e um manuscrito.

O primeiro artigo intitulado “*Inter-relação entre metodologias didáticas, motivos e aprendizagem em Bioquímica*” analisou quais modalidades didáticas são utilizadas para ensinar Bioquímica no Brasil, e, porque estas modalidades podem ser consideradas motivadoras de ensino e de aprendizagem. O artigo encontra-se publicado na revista *Insignare Scientia-RIS*, v. 3, n. 2, p. 101-118, 24 ago. 2020.

O segundo artigo intitulado “*Students' conceptions of biological membrane models*” investigou as concepções de alunos de graduação e pós-graduação sobre membranas biológicas e seus conhecimentos sobre os modelos que evoluíram ao longo da história recente das Ciências Biológicas. Este artigo encontra-se publicado na revista *Journal of Biochemistry Education*, v. 19, n. 2, p.1-12, 2022.

O manuscrito intitulado “*Our kitchen as a biochemistry laboratory: macroscopic observations and inferences on the chemical composition and functions of biological membranes*” descreve uma abordagem didática sobre fatores que afetam a integridade das MBs em células vegetais na tentativa de correlacionar as observações do fenômeno a nível macroscópico e microscópico, encontra-se em fase de submissão à revista *Journal of Chemical Education*.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A diversidade da vida como conhecemos atualmente nos mostra um mundo extremamente complexo, representada em distintas escalas de tamanhos, e facilmente observável a nível macroscópico. No entanto, quando transpomos nosso olhar para a vida em escalas menores, principalmente a nível microscópico, molecular e atômico, essas diferenças diminuem significativamente, ou seja, as bases que mantêm a vida são muito semelhantes.

A nível microscópico e molecular, os mecanismos que mantêm esta diversidade partem de três princípios básicos comuns à todas as espécies: a necessidade de um meio que separa o

ambiente externo do ambiente interno, ou seja, a necessidade de compartimentalização celular, via membrana biológica (YEAGLE, 2016), bem como o citoplasma, caracterizado por ser um meio aquoso, onde ocorrem os principais processos metabólicos intracelulares e o material genético responsável por manter as características hereditárias dos indivíduos (LEHNINGER, 2016).

Demarcamos esta pesquisa ao estudo das MBs, estruturas fundamentais que permitem o funcionamento e estabilidade das células, incluído também envelopes virais. Embora sejam consideradas estruturas simples, compostas basicamente por proteínas, lipídeos e carboidratos, as MB são complexas e exercem papéis fundamentais para a manutenção da vida celular.

A delimitação deste estudo justifica-se aos inúmeros processos bioquímicos (por exemplo, transporte, crescimento, função neuronal, resposta imunológica, sinalização celular, atividade enzimática, troca de nutrientes e eliminação de produtos tóxicos) que ocorrem nas MBs ou são mediados a partir delas, e que apesar da importância, por vezes são tratadas superficialmente ou como simples estruturas celulares (JOHANN *et al.*, 2020).

A temática é de fundamental importância não apenas para pesquisadores, mas também para os cidadãos, pois fornece informações sobre os mecanismos e funcionamento celular, que vão muito além da simples concepção de membrana celular como uma estrutura isolada que separa a célula do ambiente externo, tem papel importante na manutenção da vida e no desenvolvimento de inúmeras doenças humanas, como o câncer e a atual COVID-19.

O ensino das MBs ocorre na disciplina de Biologia, no primeiro ano do Ensino Médio na Educação Básica e no Ensino Superior onde abrange diversas áreas do conhecimento (Biologia celular, Bioquímica, Fisiologia, Microbiologia, Química, Biofísica, entre outros). Em ambos os casos, ensinar sobre MBs é um grande desafio especialmente pelo seu caráter interdisciplinar e tamanho estrutural (HOWITT *et al.*, 2008; JOHANN *et al.*, 2020).

### 1.3 PROBLEMÁTICA

A Biologia estuda organismos vivos em todas as perspectivas, desde organismos moleculares e celulares até organismos inteiros, grupos sociais e populações. Alguns organismos são invisíveis a olho nu, assim como a maioria dos processos e eventos que

ocorrem nos sistemas vivos (GILBERT; TREAGUST, 2013). Comumente são utilizadas imagens para representar visualmente estes processos, no entanto, nem sempre é dada maior atenção ao significado conceitual por detrás destas representações.

Recentemente nos deparamos a um novo cenário na educação. Desde 2020, foram suspensas aulas presenciais em todos os níveis de ensino, a nível mundial, em decorrência da Pandemia causada pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2). Como consequência à necessidade de isolamento social, adaptações foram necessárias para dar continuidade ao ano letivo, por exemplo, aulas remotas, aulas on-line, elaboração de outros materiais didáticos para distribuição, uso de representações e ferramentas de visualização.

Em processos pedagógicos a quantidade de conhecimentos disponíveis é infinita, no entanto, o tempo em sala de aula é limitado, sendo necessário priorizar escolhas para cada nível da educação (ARAÚJO; AUTH; MALDANER, 2007). Essa problemática impossibilita a capacidade de aplicar e ampliar os conhecimentos científicos na resolução de novos problemas bem como contribui para aceitar o conhecimento como único e finalizado (CARLAN; SEPEL; LORETO, 2014).

A falta de coerência e dificuldades em prever e explicar fenômenos, bem como as dificuldades em transferir conceitos para outras situações é uma realidade presente em nossa educação (UMMELS et al., 2015). Os currículos escolares são limitados em tempo e recursos e não podem abranger todos os tópicos em que os cientistas aprofundam (JOHANN, 2022).

Processos de reformulação do sistema educativo na perspectiva organizativa e curricular impactam na formação e no trabalho dos professores, bem como nas adequações das escolas e adaptações dos estudantes (GARCIA, 1992; NÓVOA, 2019; RUFINO, 2021). Segundo a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), a área de Ciências da Natureza no Ensino Fundamental tem compromisso com o letramento científico que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo e transformá-lo, com base nos aportes teóricos e processuais das ciências. De acordo com esse documento,

[...] é imprescindível que eles [os estudantes] sejam progressivamente estimulados e apoiados no planejamento e na realização cooperativa de atividades investigativas, bem como no compartilhamento dos resultados dessas investigações. Isso não significa realizar atividades seguindo, necessariamente, um conjunto de etapas predefinidas, tampouco se restringir à mera manipulação de objetos ou realização de experimentos em laboratório. Ao contrário, pressupõe organizar as situações de aprendizagem partindo de questões que sejam desafiadoras e, reconhecendo a diversidade cultural, estimulem o interesse e a curiosidade científica dos alunos e possibilite definir problemas, levantar, analisar e representar resultados; comunicar conclusões e propor intervenções (BRASIL, 2018, p. 322).

Para o Ensino Médio, a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias na BNCC (BRASIL, 2018) indica que um número limitado de pessoas aplica os conhecimentos e procedimentos científicos na resolução de seus problemas cotidianos, corroborando para a necessidade de a educação comprometer-se com o letramento científico da população. Portanto, no Ensino Médio, “o desenvolvimento do pensamento científico envolve aprendizagens específicas, com vistas a sua aplicação em contextos diversos” (BRASIL, 2018, p. 548).

Ainda com foco na BNCC (BRASIL, 2018), cabe ressaltar a importância da contextualização histórica, através da apresentação dos conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas com seus embases e contradições, além de datas e nomes de cientistas. Portanto, as Ciências da Natureza se constituem um referencial importante para a interpretação de fenômenos e problemas sociais.

Neste estudo, dedicamos-nos a investigar aspectos relacionados ao ensino de Bioquímica, por nos aproximamos da área pelas nossas experiências de investigação e formação docente, e por sabermos que esta disciplina não é exceção, as atividades de ensino geralmente seguem a metodologia tradicional, com aulas expositivas e aulas práticas complementares.

Empiricamente, nossas experiências e práticas apontam para um comportamento semelhante dos professores em optar por trabalhar superficialmente uma grande quantidade de conteúdos complexos. O principal resultado para a maioria dos estudantes é a construção de modelos mentais transitórios e fragmentados que pouco contribuirão para a compreensão das Ciências (QIAO *et al.*, 2014).

Nesta perspectiva, é necessário criar espaços e momentos de construção do conhecimento nos quais os estudantes tenham oportunidades de expressar suas opiniões, que desenvolvam a habilidade de questionar, que possam através do diálogo com os outros e com o professor consolidar seu aprendizado. Destaca-se, portanto, a importância e a necessidade de o professor oportunizar situações que possibilitem novas abordagens aos conceitos mesmo se esses já tenham sido desenvolvidos anteriormente (BATTISTI; NEHRING, 2014).

A partir da perspectiva histórico-cultural, o uso da experimentação e de modelos pode desencadear a significação conceitual sobre os fenômenos que ocorrem nas MBs. O termo significação conceitual refere-se ao trabalho interpretativo que os estudantes realizam

enquanto procuram alcançar a compreensão científica dos conceitos. Esse processo ocorre a partir da interação entre os estudantes e os objetos de ensino e são mediados pelo professor.

Por meio da interação e colaboração, os estudantes tentam interpretar e fazer sentido às situações, ações e conceitos científicos. Assim, nas instituições de ensino, a linguagem é uma ferramenta importante para criação de sentidos e significados e medeia o pensamento e o raciocínio dos estudantes.

No ensino de Ciências e aqui especificamente, no ensino de Bioquímica, o uso de recursos didáticos deve ser acompanhado de uma discussão qualificada sobre os fenômenos que representam, os significados destes recursos podem não ser óbvios para os estudantes e, portanto, necessitam da mediação do professor. Caso contrário, apenas reforçam o uso de materiais alternativos que podem apresentar um significado bem distinto do pretendido.

Investigar a aprendizagem por meio da abordagem histórico-cultural implica focar nas interações que ocorrem entre os estudantes e entre os estudantes e seu professor ao tentar dar sentido às representações. Portanto a nossa hipótese é que a significação conceitual é um processo dinâmico que ocorre pela interação discursiva entre os sujeitos e que o aprendizado ocorre quando os estudantes entendem um fenômeno ou conceito e conseguem relacioná-lo em diferentes níveis de organização do conhecimento transpondo o aprendizado para diferentes situações.

A partir dos apontamentos citados, a seguinte pergunta move esta investigação: **É possível desencadear a significação conceitual de fenômenos biológicos que ocorrem nas MBs por meio da experimentação (observações macroscópicas) e do uso de modelos (inferências) no ensino de Ciências?**



## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo geral

Investigar e propor meios que possibilitem a significação conceitual das membranas biológicas partindo do mundo macroscópico objetivo (fenômeno observável) por meio da experimentação para o mundo microscópico subjetivo (representações e símbolos) pelo uso de modelos no ensino de Ciências.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar quais são as metodologias didáticas utilizadas para ensinar bioquímica a nível nacional;
- Investigar as concepções de alunos de graduação e pós-graduação sobre membranas biológicas e seus conhecimentos sobre os modelos que evoluíram ao longo da história recente das ciências biológicas.
- Propor uma atividade experimental com uso de materiais de fácil acesso (para ensino médio e superior) a fim de correlacionar aspectos microscópicos e macroscópicos no ensino de MBs e verificar as limitações que estudantes têm em inter-relacionar dimensões do mundo microscópicos/macroscópico;

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 O ensino de Ciências e a experimentação

A importância de usar a experimentação no Ensino de Ciências/Biologia é inquestionável, no entanto, nem sempre é a salvação para problemas de aprendizagem (MALDANER, 2000), principalmente quando se alega que a dificuldade em realizar aulas com experimentação é a falta de laboratórios adequados, falta de recursos, turmas grandes, pouco tempo, etc. Estes empecilhos geralmente justificam a opção por aulas tradicionais.

Silva e Zanon (2000) apontam que o principal problema está na carência de formação dos professores. Conforme as autoras, a experimentação ainda é vista como mera atividade física em que os alunos possam ver a teoria na prática. Para as autoras esta visão se contrapõe “à visão do papel principal do professor: o de ser o mediador que faz intervenções indispensáveis aos processos de ensinar-aprender ciências que promovem o conhecimento e as potencialidades humanas” (2000, p. 121).

Outro fator que dificulta a realização do ensino por experimentação também relacionado à formação inicial dos professores são as aulas experimentais realizadas pelos estudantes de graduação, que não são desenvolvidas no sentido de qualificar o futuro professor da educação básica. Conforme Binsfeld e Auth (2011, p.3), na maioria das vezes,

[...] é devido à formação inicial dos professores, que não tiveram em sua graduação orientações e aprendizados em grau suficiente sobre como planejar e realizar aulas práticas com desenvolvimento sistemático de experiências, vinculando teoria e prática, condição necessária para resultar num ensino-aprendizagem significativo.

Pensar no ensino como reprodução do conhecimento descaracteriza a visão de sujeitos críticos, reflexivos, ativos. Assim, compreender que a experimentação didática é diferente da experimentação científica é fundamental para os avanços nos processos de ensino e de aprendizagem no âmbito escolar (MARANDINO; SELLES; FERREIRA, 2009). A experimentação deve ser vista como ferramenta didática que auxilia na compreensão dos conhecimentos, no sentido de estar significando o aprendizado.

Conforme a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Básica (LDB), no ensino não deve haver dissociação entre teoria e prática,

[...] a prática se configura não apenas como situações ou momentos distintos de um curso, mas como inerente a uma metodologia de ensino que contextualiza e põe em ação todo o aprendizado. Para garantir essa integração, é importante adotar metodologias que a privilegiem e cuidar da definição dos conteúdos e de sua organização nas diferentes etapas de ensino (BRASIL, 2013, p. 246).

Por em ação o aprendizado significa, conforme a LDB, adotar metodologias de ensino inovadoras,

[...] distintas das que se encontram nas salas de aula mais tradicionais e que, ao contrário dessas, ofereçam ao estudante a oportunidade de uma atuação ativa, interessada e comprometida no processo de aprender, que incluam não só conhecimentos, mas, também, sua contextualização, experimentação, vivências e convivência em tempos e espaços escolares e extraescolares, mediante aulas e situações diversas, inclusive nos campos da cultura, do esporte e do lazer (BRASIL, 2013, p. 181).

Assim, inúmeras pesquisas apontam para as atividades experimentais como metodologias capazes de promover uma aprendizagem com mais significação nas aulas de ciências, os alunos demonstram maior interesse, também é possível observar maior motivação dos alunos nos processos de ensino e aprendizagem (MORAIS; POLETTI, 2014; SILVA, et al, 2017; GIORDAN, M. 1999; BINSFELD; AUTH, 2011).

## 2.2 O estudo das Membranas Biológicas: uma perspectiva histórica

De acordo com a literatura, as MBs são e sempre foram essenciais para a Biologia desde seu papel na origem da vida, através da formação de compartimentos para que ocorram reações químicas até o aproveitamento de energia, como gradientes de íons através delas (BAADEN, 2019; NELSON; COX; LEHINGER, 2019; YEAGLE, 2016).

Conforme Baaden (2019), as MBs desempenham um papel importante ao evitar o acesso de substâncias indesejadas às células, controlando o influxo e efluxo e complexificando a distribuição de drogas, além de ser um suporte essencial para proteínas de membrana. As MBs também são responsáveis pela comunicação celular, monitorando as condições externas e internas da célula, bem como atuam na entrada de nutrientes e liberação de produtos tóxicos produzidos pelo metabolismo celular (OTTOVA; TIEN, 2005).

De acordo com Yeagle (2016), as MBs conferem propriedades críticas às células, incluindo:

a capacidade de explorar o gradiente transmembrana de espécies ou cargas químicas; a capacidade de organizar várias enzimas que catalisam etapas relacionadas em uma via metabólica em um complexo ligado à membrana; controle da atividade enzimática pela estrutura da membrana e pelos componentes individuais da membrana; o uso de membrana como substrato para a produção metabólica de moléculas ativas, como os segundos mensageiros; permitem a transdução de informações de um lado para o outro de uma membrana e a separação de funções

através da compartimentalização em diferentes organelas (YEAGLE, 2016, p. 25) [tradução nossa].

Mouritsen e Bagatolli (2016) propõe que as MBs são as estruturas celulares mais abundantes em toda a matéria viva. Os autores citam o exemplo de que um ser humano constituído por aproximadamente  $4 \times 10^{13}$  células, a superfície total de todas as membranas plasmáticas (MPs) corresponde a  $12.000\text{m}^2$  que equivale a quase dois campos de futebol e se pudéssemos mensurar as MBs das organelas internas, este número seria ainda maior.

No geral, as MBs são constituídas em uma arquitetura extremamente fina (5-7 nanômetros) de bicamada fosfolipídica, impossível de visualizar até mesmo em microscópio óptico (limite de resolução 200 nanômetros), com proteínas integrais e periféricas, e carboidratos que podem estar ligados a proteínas ou lipídeos, modelo conhecido atualmente como *mosaico fluído* (OTTOVA; TIEN, 2005; SINGER; NICOLSON, 1972; YEAGLE, 2016).

No entanto, antes de chegar ao modelo atual de MBs, cientistas percorreram um longo caminho de investigações. Destacamos apenas alguns pontos na perspectiva histórica da evolução conceitual sobre MBs que julgamos serem relevantes para esta investigação (ver figura 1).

O conceito de célula foi proposto por Robert Hook em 1672, quando observou uma fatia de cortiça sobre um microscópio óptico construído por ele. Quando a Teoria Celular foi formulada no século XIX, pouco se sabia sobre as MBs. Os estudos daquela época tratavam as MBs como estruturas secundárias e sem muita importância, questão essa que permaneceu obscura até meados do século XX (LOMBARD, 2014).

A ideia de que a superfície da célula poderia ser coberta por uma fina camada de lipídios reporta as publicações de Overton nos anos de 1890. Ele realizou testes que mediram a taxa de entrada de mais de 500 compostos químicos diferentes nas células e concluiu que moléculas apolares entram nas células com mais facilidade que moléculas polares (DEAMER; KLEINZELLER; FAMBROUGH, 1999; LOMBARD, 2014; OTTOVA; TIEN, 2005).

Em 1917, Langmuir (1917) estudou o comportamento de moléculas anfipáticas na interface água e ar. Ele testou a espalhabilidade de diferentes lipídeos na superfície da água e concluiu que o filme formado na superfície era de uma molécula de espessura.

Anos mais tarde usando uma técnica semelhante à descrita por Langmuir, Gorter e Grendel (1925) estimaram a área de superfície ocupada por lipídeos em células sanguíneas. Os pesquisadores extraíram lipídeos de eritrócitos de diversos animais, incluindo eritrócitos humanos, e mediram área ocupada pelos lipídios. Eles concluíram que a área era duas vezes maior quando comparada à área das células intactas, sugerindo que havia lipídios suficientes para formar uma camada com duas moléculas de espessura, a bicamada lipídica. A formulação da hipótese de bicamada lipídica abriu a porta para uma série de pesquisas com a finalidade de confirmar ou refutar tal hipótese (LOMBARD, 2014).

A estrutura em mosaico fluido foi proposta pela primeira vez por Danielli e Davson (1935). Os autores estudaram a formação de agregados lipídicos em água e descobriram que os mesmos formavam micelas com tensão interfacial muito maior do que nas células e sugeriram que se fossem adicionadas proteínas, a tensão interfacial diminuiria como nas membranas. Este modelo ficou conhecido como sanduíche, em que a organização seria proteína-lipídeos-proteína (OTTOVA; TIEN, 2005).

Em 1936, Danielli (1936) estudou 3 tipos de modelos de membranas: membranas lipídicas contínuas; membranas de mosaico e membranas de lipoproteínas, e concluiu ser sensato considerar o modelo fluido. O autor defende que se as MBs fossem compostas apenas por lipídeos não ocorreria à passagem de substâncias do lado externo para o lado interno da célula e vice-versa.

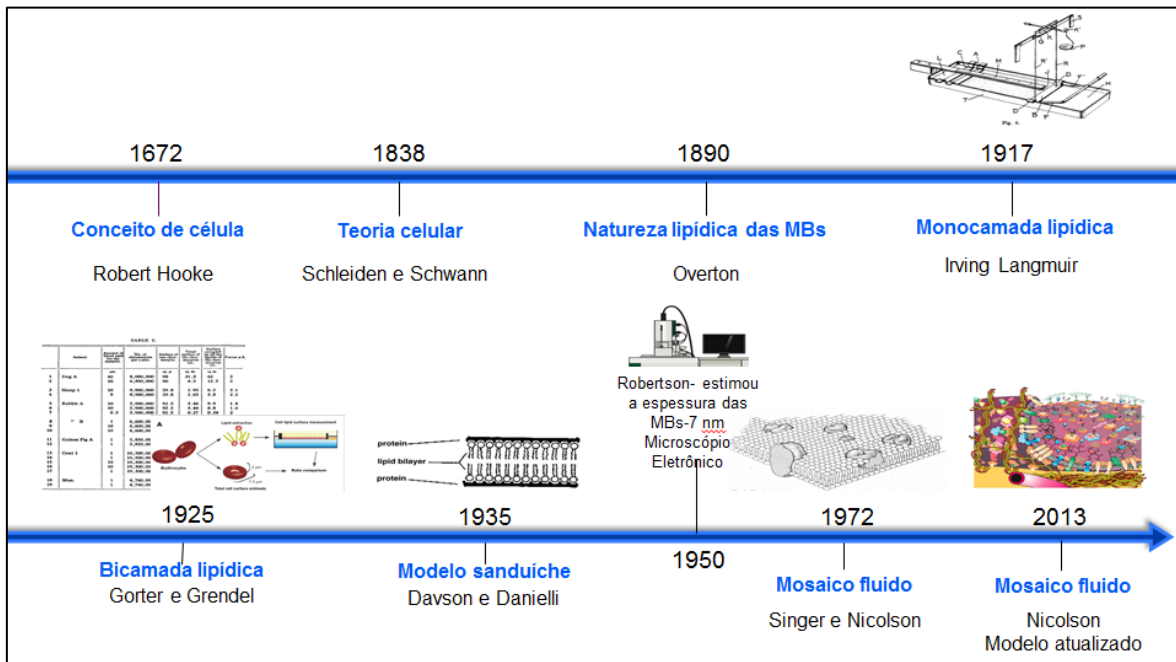
Em 1950, as MBs foram observadas pela primeira vez através de microscopia eletrônica e foi constatado que sua espessura seria de 7nm, com uma aparência de trilhos de trem, reforçando a ideia do modelo de sanduíche descrito por Davson e Danielli (LOMBARD, 2014).

O modelo de MBs atualmente aceito foi proposto em 1972, quando Singer e Nicolson (1972) publicaram o artigo “The fluid mosaic model of the structure of cell membranes”. Segundo os autores, a estrutura biológica da membrana em mosaico fluido era o único modelo que seguia as leis da termodinâmica. Este modelo foi apoiado por evidências de origens diferentes, destacando-se a diversidade na composição, função e estrutura das proteínas integrais e periféricas da membrana, bem como a composição lipídica heterogênea.

Em uma atualização mais recente (NICOLSON, 2013), o modelo de mosaico de fluidos permanece relevante para descrever a nanoescala básica de membranas biológicas. No entanto, foram adicionadas informações que mostram a importância dos domínios de

membrana, complexos de proteínas, bem como a importância das estruturas citoesqueléticas e da matriz extracelular, que atuam em respostas rápidas e seletivas a estímulos de fora e de dentro da célula.

Figura 1: Linha do tempo resumida 1672–2013. Principais contribuições relacionadas à descoberta das MBs entre os primeiros estudos sobre as estruturas da membrana celular e a formulação do modelo do mosaico fluido.



Fonte: Adaptado de Lombard (2014).

O estudo histórico da formulação do atual modelo de membrana fornece algumas linhas de reflexão sobre a evolução conceitual da célula e a origem da vida. Concordamos com Lombard (2014) ao se referir às MBs como sendo indiscutivelmente um dos componentes mais essenciais do conceito de unidade de vida. Como todas as células conhecidas são delimitadas por MBs, a compreensão da importância dessas estruturas torna-se crucial para a nossa atual definição da unidade de vida.

Além de a MB ser extremamente complexa por natureza, é constituída de uma variedade de moléculas que incluem lipídios, proteínas e carboidratos, as quais fazem parte dos estudos introdutórios no ensino de bioquímica (BAADEN, 2019; NELSON; COX; LEHINGER, 2019; YEAGLE, 2016). A história do conceito de membrana biológica mostrou que os mesmos fenômenos podem ser explicados de maneiras diferentes, mostrou também que toda a vida na Terra é muito mais semelhante do que diferente ao nível molecular.

### 2.3 Níveis de organização e a compreensão conceitual

O conhecimento é pelo menos parcialmente baseado ou derivado de observações do mundo natural. No entanto, a elaboração de conceitos científicos envolve a imaginação e criatividade humana, e conseqüentemente a nossa compreensão dos fenômenos depende de acessá-los e interagir com eles indiretamente (JACOBSON; KOZMA, 2000). Nosso entendimento é mediado por expressões simbólicas usadas para representar os fenômenos estudados.

O domínio da bioquímica é bastante esotérico e dificilmente pode funcionar como base para uma compreensão com significado dos fenômenos biológicos a nível de organismo. Em outras palavras a bioquímica trata da química da vida que é fundamental para o desenvolvimento e sobrevivência de um organismo, e ao mesmo tempo difícil de entender.

Os níveis representacionais propostos por Johnstone (2000) são predominantes no ensino de ciências e química. Esses níveis são conhecidos como simbólico, submicroscópico e representacional. O autor propõe que esses níveis podem ser usados para ensinar biologia também. No entanto, outros autores, reconhecem que na biologia esses níveis de representação apresentam limitações, pois ao contrario da química, envolvem entidades biológicas hierarquicamente organizadas as quais as propriedades do nível macro emergem das inter-relações do nível micro (celular e molecular)(PENNER, 2000).

Pesquisadores que trabalham com a percepção de conceitos relativos a diferentes níveis de organização geralmente observam que os níveis micro (celular e molecular) são mais difíceis de entender que o nível macro (MARBACH-AD; STAVY, 2000). Uma explicação possível é que os processos e objetos nesses níveis não podem ser tocados ou observados diretamente e, em muitos casos não podem ser facilmente extrapolados a partir de observações macroscópicas.

A literatura reconhece o macro e o submicro como mundos com existência material, ambos com referencias a objetos reais de estudo e ambos submetidos a modelagem (SARITAŞ; ÖZCAN; ADÚRIZ-BRAVO, 2021). Mas a complexidade das ciências força a divisão do conhecimento em disciplinas separadas e raramente é dada atenção as inter-relações entre o conhecimento. De maneira geral, tendemos a ler, aceitar e reproduzir passivamente os conteúdos e recursos linguísticos presentes nos textos científicos, porém queremos que nossos alunos entendam não somente as explicações científicas dos fenômenos,

mas também a natureza do próprio processo científico por isso a importância de conhecer o processo histórico de elaboração conceitual.

### 3 METODOLOGIA E RESULTADOS

A metodologia utilizada nessa pesquisa foi sendo desenvolvida no decorrer do processo e está descrita individualmente em cada artigo. Primeiramente a pesquisa consistiu em uma análise bibliográfica sobre as metodologias de ensino que estão sendo empregadas para ensinar Bioquímica no Brasil, a fim de conhecer como esta disciplina é abordada nacionalmente.

Na sequência investigamos as concepções dos alunos sobre MBs e os modelos que explicam o desenvolvimento conceitual através do tempo. A metodologia utilizada foi a aplicação de um questionário. A análise dos dados ocorreu pela análise de conteúdo (BARDIN, 2011).

Por fim desenvolvemos uma abordagem didática experimental que visou analisar se a experimentação auxilia no entendimento de conceitos microscópicos através de inferências e observações.

Os resultados obtidos a partir desta pesquisa de doutoramento estão disponibilizados no formato de artigos científicos, os quais encontram-se organizados na sequência abaixo. Os itens resultados, discussão e referências bibliográficas encontram-se nos próprios artigos.

O artigo 1 foi enviado para publicação ao periódico “Revista Insignare Scientia”, com o título “**Inter-relação entre metodologias didáticas, motivos e aprendizagem em Bioquímica**” e publicado em abril de 2020.

O artigo 2 foi submetido para publicação ao periódico “Journal of Biochemistry Education”, com o título “**Students' conceptions of biological membrane models**” e foi publicado em 2022.

O manuscrito está em fase de submissão à revista Journal of Chemistry Education, com o título “**Our kitchen as a biochemistry laboratory: macroscopic observations and inferences on the chemical composition and functions of biological membranes**”.



## Artigo 1

# Inter-relação entre metodologias didáticas, motivos e aprendizagem em Bioquímica

## *Interrelation between didactic methodologies, motives and learning in biochemistry*

**Resumo:** A Bioquímica é uma disciplina básica de inúmeros cursos de graduação, a qual estuda as relações entre biomoléculas e reações químicas que ocorrem em diferentes organismos vivos nos estados de saúde e de doença. O domínio dos conhecimentos bioquímicos é avaliado como complexo e desafiador principalmente pela necessidade de abstração para compreensão conceitual. O objetivo deste trabalho foi analisar quais são as modalidades didáticas que estão sendo utilizadas para ensinar Bioquímica no Brasil, e, por que estas modalidades poderiam ser consideradas motivadoras de ensino e de aprendizagem, tendo como embasamento teórico a Teoria da Atividade e a psicologia Histórico-cultural. Foram analisados 36 artigos publicados na Revista de Ensino de Bioquímica (REB), entre 2015 e 2019. Emergiram da análise as categorias: *motivos relacionados à interação social, motivos relacionados à aprendizagem ativa e motivos relacionados ao desempenho acadêmico*. A maioria dos artigos descreveram processos ativos de ensino, apontando para uma tendência focada no aluno como protagonista da aprendizagem.

**Palavras-chave:** Educação em Bioquímica; metodologias; aprendizagem ativa; Teoria da atividade.

**Abstract:** Biochemistry is a basic discipline of numerous undergraduate courses, which studies the relationships between biomolecules and chemical reactions that occur in different living organisms in health and disease states. The mastery of biochemical knowledge is assessed as complex and challenging mainly by the need for abstraction for conceptual understanding, generating great concern for those who teach. The aim of this paper was to analyze what are the didactic modalities that are being used to teach biochemistry in Brazil, and why these modalities are considered motivating of teaching and learning, having as theoretical basis the Activity Theory and the Historical-cultural psychology. We analyzed 36 articles published in the Journal of Biochemistry Education (REB), between 2015 and 2019. The following categories emerged from the analysis: *motives related to social interaction, motives related to active learning and motives related to academic performance*. Most articles described active teaching processes, pointing to a student-focused tendency as a protagonist of learning.

**Keywords:** Biochemistry Education; methodologies; active learning; activity theory.

## **INTRODUÇÃO**

Um dos grandes desafios do ensino é desenvolver nos alunos a capacidade de refletir/pensar criticamente, dando sentido aos conhecimentos que estão sendo abordados e criando possibilidades de aprendizagem. A Bioquímica enquanto disciplina, é considerada de difícil compreensão, pois exige um alto grau de abstração ao tratar de fenômenos ao nível molecular (isto é, atômico, submicroscópico e microscópico) que ocorrem nos organismos vivos nos estados de saúde e de doença. Além disto, num levantamento recente observamos que as percepções e avaliação sobre a disciplina de Bioquímica por estudantes de graduação, de diversos cursos, foi bastante negativa, mostrando que as aulas de Bioquímica devem ser repensadas e que os conhecimentos básicos devem ser aprimorados (NOGARA, *et al*, 2018).

Esta dificuldade pode estar relacionada com a maneira de ensinar e de aprender, justificando a busca por metodologias de ensino diferenciadas, que atraiam a atenção, colaboração e participação ativa dos alunos. Concordamos com Sforzi (2004, p. 13), ao considerar que não existe ensino único capaz de desencadear aprendizagem generalizada, mas “uma variedade de formas de transmissão de saber que podem ser mais ou menos competentes na promoção do desenvolvimento cognitivo”. No entanto, compreendemos que a apropriação do conhecimento não é um processo imediato que ocorre pela simples utilização de uma metodologia, mas deve despertar no aluno um sentimento de necessidade (motivação), ser mediada pelo professor e ter uma intencionalidade.

Buscamos analisar as modalidades didáticas utilizadas para ensinar Bioquímica no Brasil e compreender porque elas são ou não consideradas motivadoras de ensino e aprendizagem em Bioquímica, bem como propor uma reflexão sobre o significado dos conceitos motivo/motivação no âmbito educacional levando em consideração a dinâmica do comportamento e desenvolvimento psíquico humano (LEONTIEV, 1978, 1985; VIGOTSKI, 2001, 2002).

## **OS MOTIVOS NAS ATIVIDADES DE ENSINO E APRENDIZAGEM**

A psicologia histórico-cultural do desenvolvimento humano proposta por Vigotski, Leontiev e outros colaboradores, aborda aspectos relacionados aos processos de

aprendizagem, linguagem e desenvolvimento (VIGOTSKI; LURIA e LEONTIEV, 2016) sob o referencial teórico-metodológico do materialismo histórico-dialético (CALVE; ROSSLER; SILVA, 2015). Assim, a base do desenvolvimento psíquico humano é social, o homem é considerado produto da apropriação da cultura e da sociedade, o qual se desenvolve principalmente pelo uso da linguagem, instrumentos e de seus significados.

Nesta perspectiva, as atividades de ensino e aprendizagem são atividades sociais de produção de conhecimento científico bem como de desenvolvimento psíquico, sendo fundamental mobilizar o pensamento dos alunos para transformá-lo em ação mental. A motivação nesse contexto é considerada um estímulo para os estudantes participarem das atividades propostas pelo professor. Conforme Marino Filho (2011, p. 59),

[...] não basta que haja à disposição dos alunos os objetos, ou conteúdos disciplinares, para que eles se envolvam cognitivamente de forma produtiva e desenvolvedora. Há que se produzir uma atividade que crie a necessidade de envolvimento do aluno e que ela faça sentido para ele, no conjunto das suas ações, e que este sentido possa reconhecer-se como vital para o seu desenvolvimento.

Leontiev (1978) propõe que a atividade em termos mais gerais é uma forma de agir mediada por uma ferramenta (material ou intelectual) e conduzida por uma necessidade. No entanto, em estudos posteriores, ele destacou que “na realidade sempre estamos na presença de atividades específicas, cada uma das quais responde a uma determinada necessidade do sujeito” (LEONTIEV, 1985, p. 83[tradução nossa]). O autor ressalta que o mais importante que distingue uma atividade de outra é o objeto da atividade, o seu motivo, que pode ser externo ou ideal.

Nesta perspectiva, distintos motivos podem emergir das atividades de ensino e aprendizagem, por exemplo, podem ser motivos eficazes ou apenas compreensíveis. De acordo com Leontiev (1978, 1985), os motivos apenas compreensíveis são aqueles que não geram significado real para quem realiza uma atividade, ou seja, mesmo sabendo que existe uma necessidade por detrás da atividade proposta, não há sentido pessoal para realizá-la. Já nos motivos realmente eficazes, as atividades são geradoras de sentido pessoal, o autor aponta que “ao satisfazer a sua necessidade de conhecimento, o homem pode fazer de um conceito o *seu* conceito, isto é, apropriar-se de sua significação” (1978, p. 168[grifo do autor]).

Por exemplo, estudar Bioquímica pode ser apenas um meio de não reprovar nesta disciplina, sendo, portanto, um motivo apenas compreendido. Porém, se o aluno estuda para compreender o que ocorre nos níveis moleculares, relacionando com a sua própria vida e futura profissão, o conteúdo estudado fará outro sentido para ele. Conseqüentemente as

metodologias didáticas seguem uma lógica parecida, elas podem ser realizadas mecanicamente pelo estudante apenas para realizar o que lhe foi proposto, ou elas podem auxiliar efetivamente na aprendizagem.

Assim é importante conhecer os motivos que conduzem a realização das atividades propostas. Dependendo da intencionalidade do professor e da necessidade despertada no aluno, o uso de metodologias didáticas diferenciadas pode ou não desencadear o aprendizado.

## **METODOLOGIA**

A metodologia utilizada neste trabalho é de caráter qualitativo bibliográfico, que se caracteriza por ser aquela realizada a partir de registros disponíveis, decorrentes de pesquisas anteriores. Conforme Severino (2007, p.122) neste processo utiliza-se

[...] dados ou de categorias teóricas já trabalhadas por outros pesquisadores e devidamente registrados. Os textos tornam-se fontes dos temas a serem pesquisados. O pesquisador trabalha a partir das contribuições dos autores dos estudos analíticos constantes dos textos.

Para realizar nossa análise, selecionamos Revista de Ensino de Bioquímica (REB), que está vinculada a Sociedade Brasileira de Bioquímica e Biologia Molecular (SBBq). Conforme o *website* da REB, a revista é um meio de divulgar pesquisas em ensino de Bioquímica, Biologia Molecular e áreas afins, contribuindo para os avanços científicos, tecnológicos e pedagógicos.

Utilizamos como critério de inclusão apenas os artigos publicados nos últimos 5 anos (2015-2019), excluindo as edições especiais (resumos publicados das reuniões anuais SBBq) deste período. Neste intervalo de tempo foram publicados 49 artigos alocados nas seções “Inovações Educacionais”, “Pesquisa em Ensino”, “REB Na Escola”, “Imagem Pública e Divulgação Científica”.

Nosso objetivo inicial foi verificar quais são as metodologias didáticas utilizadas atualmente para ensinar Bioquímica no Brasil. Após a primeira leitura, percebemos que muitas das pesquisas publicadas faziam alguma correlação entre a metodologia didática utilizada e a motivação, emergindo assim, outro questionamento: por que os pesquisadores consideram as metodologias didáticas utilizadas como motivadoras de ensino e aprendizagem em Bioquímica?

Para a segunda etapa da pesquisa utilizamos como ferramenta analítica a Análise Textual Discursiva (ATD), que consiste em três estágios:

1. *Desmontagem dos textos*: também denominado de processo de unitarização, implica examinar os materiais em seus detalhes, fragmentando-os no sentido de atingir unidades constituintes [...]
2. *Estabelecimento de relações*: processo denominado de categorização, implicando construir relações entre as unidades de base, combinando-as e classificando-as no sentido de compreender como esses elementos unitários podem ser reunidos na formação de conjuntos mais complexos, as categorias.
3. *Captando o novo emergente*: a intensa impregnação nos materiais da análise desencadeada pelos dois estágios anteriores possibilita a emergência de uma compreensão renovada do todo. [...] O metatexto resultante desse processo representa um esforço em explicitar a compreensão que se apresenta como produto de uma nova combinação dos elementos construídos ao longo dos passos anteriores (MORAES, 2003, p. 192 [grifos do autor]).

Por meio da utilização da ATD e tendo como embasamento teórico a psicologia histórico-cultural do desenvolvimento humano emergiram as categorias: *motivos relacionados à interação social*; *motivos relacionados à aprendizagem ativa* e *motivos relacionados ao desempenho acadêmico* que serão descritas e analisadas na sequência.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de 2015 a 2019 foram publicados na REB 49 artigos, sendo que 36 deles continham em algum momento as palavras “motivo”, “motivação”, “motivador” e/ou “motivados” (Quadro 1).

**Quadro 1- Total de artigos publicados na REB entre 2015 a 2019.**

Ano	Total de artigos	Motivo/motivação/motivador/motivados	Outros
2015	10	7	3
2016	12	6	6
2017	11	10	1
2018	10	8	2
2019	6	5	1
TOTAL	49	36	13

Fonte: os autores, 2019.

No quadro 2 destacamos as metodologias encontradas, sendo possível observar que as atividades lúdicas, o uso de softwares e a experimentação foram as mais citadas e a educação continuada, fóruns de discussão, apresentação de seminários, mapas conceituais e sequências didáticas as metodologias menos citadas.

## Quadro 2- Metodologias didáticas

Metodologias	Total
1. Atividades lúdicas (incluem jogos, teatro e música)	8
2. Uso de Softwares	5
3. Experimentação	4
4. Avaliação da qualidade do ensino / disciplina / metodologia	4
5. Extensão universitária	3
6. Estudos de Caso/Situações problema	3
7. Modelos tridimensionais	2
8. Sala de aula invertida	2
9. Educação continuada	1
10. Fóruns de discussão via Moodle	1
11. Apresentação de seminários	1
12. Mapas conceituais	1
13. Sequências didáticas	1

Fonte: os autores, 2019.

No quadro 3 estão representados os artigos selecionados para a análise, respeitando os critérios apontados anteriormente. Estão dispostos conforme o título, o ano, os autores, e a seção da revista.

## Quadro 3- Artigos que contêm as palavras motivo, motivação, motivar e/motivados publicados na REB entre 2015 a 2019.

Título	Ano	Autores	Seção
1-Ensino de Imunologia pela incorporação do conhecimento pelo teatro e a música	2015	ALMEIDA, M. E. F.; SANTOS, V. S.	Pesquisa em Ensino
2-Seminários: proposta didática para o ensino de Genética	2015	GOUVÊA, C. M. C. P.	Pesquisa em Ensino
3-Elaboração e utilização de um aplicativo como ferramenta no ensino de Bioquímica: carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos	2015	ALCÂNTARA, N. R.; MORAES FILHO, A.V.	Inovações Educacionais
4-Liga acadêmica de bioquímica clínica: experiência de implantação e participação na primeira liga acadêmica numa instituição de ensino superior de Juazeiro do Norte – Ceará	2015	HOLANDA, V. N.; <i>et al.</i>	Imagem Pública e Divulgação Científica da Bioquímica
5-Análise da percepção de estudantes de graduação da área da saúde sobre o tema Biologia Celular	2015	MONERAT, C. A. A.; ROCHA, M. B.	Pesquisa em ensino
6-Um jogo de construção para o aprendizado colaborativo	2015	OLIVEIRA, O. S.	Inovações

de Glicólise e Gliconeogênese			educacionais
7-Twister Proteico: uma ferramenta lúdica envolvendo a síntese de proteínas	2015	WEYH, A. CARVALHO, I. G. B.; GARNERO, A. V.	Inovações educacionais
8- Produção científica sobre estratégias didáticas utilizadas no ensino de Bioquímica: uma revisão sistemática	2016	SILVEIRA, J. T.; ROCHA, J. B. T.	Pesquisa em ensino
9-Unidade Metabólica Baseada em Casos (CBMU): Um modelo para melhor compreensão do metabolismo no segundo ano do programa modular estendido de estudantes de medicina	2016	EISSA, S. SABBOUR, A.	Inovações educacionais
10- Jogo Bozó Genético: uma proposta didática como alternativa para o ensino da replicação do DNA no ensino médio	2016	VILHENA, L. <i>et al.</i>	REB na escola
11- Apresentação de resultados de pesquisa científica como estratégia para aumentar o interesse dos alunos em fisiologia	2016	ALTERMANN, C. D.; GARCIA, A.; MELLO, P. C.	Inovações educacionais
12- Observação do efeito redutor da N-acetilcisteína no metabolismo da levedura	2016	CHAPELA, S. <i>et al.</i>	Inovações educacionais
13- ProtVirt: simulação da dosagem de proteínas por espectrometria auxiliando as aulas práticas de Bioquímica	2016	HORNINK, G. G.	Inovações educacionais
14- Impacto do ensino do Ciclo da Ureia por meio do “vídeo animado” versus o método de retroprojetor: percepção dos estudantes do primeiro ano de Bacharelado em odontologia	2017	AZIL, A. S.; SURYAKAR, A.; DIKSHIT, M.	Pesquisa em ensino
15- Estudos dirigidos inovadores para a aprendizagem significativa de bioquímica no curso de biologia: uma pesquisa baseada em design	2017	COSTA, C.; GALEMBECK, E.	Pesquisa em ensino
16- O hormônio insulina como um modelo para ensinar a estrutura tridimensional das proteínas	2017	OLIVEIRA, C. S. <i>et al.</i>	Inovações educacionais
17- Construção e aplicação de um modelo tridimensional como recurso didático para o ensino de síntese proteica	2017	LAZZARONI, A. A.; TEIXEIRA, G. A. P. B.	REB na escola
18- Estratégias didático-pedagógicas como alternativas para o ensino de Biologia Celular: curso aos professores de escolas públicas de Ensino Médio de Curitiba-SC	2017	GLASER, V.; PIERRE, P. M. O.; FIOREZE, A. C. C. L.	REB na escola
19- O uso de fóruns de discussão sobre tópicos de interesse geral como estratégia para melhorar o interesse dos estudantes em Fisiologia	2017	GONÇALVES, R. <i>et al.</i>	Pesquisa em ensino
20- Mapeando tendências da pesquisa na área de	2017	FERREIRA, C. R. C.;	Pesquisa em

Educação em Bioquímica da SBBq de 2006 a 2016		GONÇALVES, J. L.	ensino
21-Avaliação das dificuldades de aprendizado em Bioquímica dos discentes da Universidade Federal do Piauí	2017	ANDRADE, R. S. B.; SILVA, A. F. S.; ZIERER, M. S.	Pesquisa em ensino
22- Atividades experimentais nos anos iniciais do ensino fundamental: ferramenta metodológica para a construção do processo de ensino aprendizagem	2017	LIMA, A. S. <i>et al.</i>	REB na escola
23- Uso do Role-Playing Game (RPG) como complemento didático no ensino de Imunologia	2017	LAUREANO, M. O. L. <i>et al.</i>	Inovações educacionais
24- Na trilha dos genes: uma proposta de jogo didático para o ensino de Genética	2018	LOVATO, F. L.	Inovações educacionais
25- Ensino híbrido e gamificação aplicado no ensino de Bioquímica	2018	JUNIOR SOUZA, A. A.; SOUZA, G. P. V. A.; SANTOS, E. A.	Inovações educacionais
26- Resolução de problemas no ensino de Ciências: utilização de <i>Artemia salina</i> como modelo experimental para o estudo de plantas medicinais na escola básica	2018	SALGUEIRO, A. C. F.; <i>et al.</i>	REB na escola
27- Ciclo celular: construção e validação de uma sequência didática pela metodologia da engenharia didática	2018	KIELING, K. M. C.; GOULART, A. S.; ROEHRS, R.	REB na escola
28- Percepção de estudantes de graduação de uma Universidade brasileira sobre a disciplina de Bioquímica	2018	NOGARA, P. A.; <i>et al.</i>	Pesquisa em ensino
29- Avaliação da qualidade de ensino de Bioquímica em cursos de Nutrição	2018	SILVEIRA, J. T.; TEIXEIRA, J. B.	Pesquisa em ensino
30- Realidade virtual no ensino de vias metabólicas	2018	GARZÓN, J. C. V.; MAGRINI, M. L.; GALEMBECK, E.	Inovações educacionais
31- Estratégia de ensino: Aprenda em sala de aula	2018	SANTIAGO, S. A.; CARVALHO, H. F.	Inovações educacionais
32- Liga Acadêmica de Fisiologia Médica: um olhar dos discentes sobre metodologias ativas de ensino-aprendizagem	2019	FRIZZO, R. A.; <i>et al.</i>	Pesquisa em ensino
33- Análise do conhecimento dos acadêmicos das áreas biológicas e saúde sobre o dogma "DNA – RNA – Proteína"	2019	ANDRADE, V. R. M.; <i>et al.</i>	Pesquisa em ensino
34- As aventuras de Kreber: jogo digital sobre o metabolismo energético	2019	BAËTA, F. J. M.; HORNINK, G. G.	Inovações educacionais
35- Ferramentas de bioinformática aplicadas ao ensino da biotecnologia	2019	NASCIMENTO, Y. A. P.; SARAIVA, F. M.	REB na escola



36- Mês do cérebro: uma ação visando a popularização da neurociência com alunos de ensino médio, em uma escola do DF, Brasil	2019	CARVALHO, K. M.; MENEZES, J. P. C.	Imagem pública e divulgação científica.
--	------	---------------------------------------	---

Fonte: os autores, 2019.

#### 4.1 *Motivos relacionados à interação social*

Na perspectiva da psicologia histórico-cultural a atividade de estudo antes de ser individual é social, as interações sociais desencadeiam a aquisição do conhecimento e o desenvolvimento humano, especialmente através da comunicação entre as pessoas e pelo uso de instrumentos (LEONTIEV, 1978).

Esses elementos criam a possibilidade de reorganizar as ideias que os estudantes já possuem e favorece a construção de novos conhecimentos. A interação social nesta perspectiva, “não tem sentido de adaptação ao meio, mas de diálogo, de participação consciente, de possibilidade de intervenção” (SFORNI, 2004, p. 11), tem função formadora.

Os artigos que contemplam esta categoria de motivos envolvem as seguintes metodologias: o teatro e a música (Artigo 1), extensão universitária (Artigos 4, 11, 32), estudos de caso (Artigos 9,15, 20), formação continuada (Artigo 18), fóruns de discussão (artigo 19), atividades lúdicas/jogos (Artigos 6, 7, 10, 23, 24, 34 e 36). Estas metodologias criam conexões entre as pessoas e realidade das futuras práticas profissionais, estimulando a necessidade de aprendizado de Bioquímica e áreas afins.

O teatro e a música são formas lúdicas de ensinar e aprender. O artigo 1 (ALMEIDA; SANTOS, 2015) demonstrou que este método implica na responsabilidade dos “atores” e “telespectadores” contribuindo para a construção de um pensamento crítico, bem como para a formação social e cultural dos alunos que têm a oportunidade de prestigiá-lo. Através das narrativas que são desencadeadas nesta metodologia tem-se a oportunidade de colocar o pensamento em palavras tornando a universidade em um espaço de socialização do conhecimento (BOLZAN, 2009).

No artigo 4 (2015) a extensão universitária é uma metodologia que aproxima os estudantes das suas profissões. Conforme Holanda *et. al* (2015, p. 94), uma das principais motivações apontadas pelos participantes foi “o desejo de atuar de forma mais direta na comunidade, através de ações sociais”. Os autores concluem que a criação da Liga acadêmica foi extremamente positiva, possibilitando “uma extensa contribuição sócio-científica aos

participantes considerando a vivência com o social, os novos conhecimentos científicos e clínicos” (Ibidem, p. 98).

O artigo 18 (GLASER; PIERRE; FIOREZE, 2017) refere-se à formação continuada de professores, a qual permitiu a troca de experiências através da elaboração de modelos didáticos para ensinar Biologia celular. A interação social foi um dos fatores que motivou os professores a buscarem por estratégias didáticas mais atrativas, pois propiciou um ambiente de discussão de práticas pedagógicas.

No artigo 19 (GONÇALVES *et al*; 2017) também é possível observar, que a metodologia de fóruns de discussão é utilizada como estratégia para melhorar o interesse dos estudantes e estimular o pensamento crítico.

As metodologias de estudo de casos clínicos e apresentação de trabalhos científicos como as descritas nos artigos 9 (EISSA; SABBOUR, 2016) e 11 (ALTERMANN; GARCIA; MELLO, 2016) respectivamente, aproximam os alunos da realidade profissional e são utilizadas para melhorar as capacidades intelectuais, possibilitando desenvolver as habilidades de pensamento crítico nos estudantes, pois geram discussão dos dados analisados.

Podemos inferir que esta categoria de motivos é caracterizada pela atividade compartilhada estimula as capacidades de atenção, memória, abstração e generalização que são desencadeadas no meio social, cultural, através da comunicação entre as pessoas. A apropriação do conhecimento, ou seja, o desenvolvimento cognitivo vai da dimensão social para a individual e vice-versa (SFORNI, 2004), destacando a importância da interação social nos processos de ensino e aprendizagem.

#### *4.2 Aprendizagem ativa*

Leontiev estudou o aparecimento da consciência humana em comparação ao aparecimento do trabalho. Em sua obra “O desenvolvimento do psiquismo” (LEONTIEV, 1978), o autor assinala que o trabalho se efetua em condições de atividade coletiva, orientados por uma necessidade e efetivados pelo uso de instrumentos. Assim como o trabalho, a atividade estudo passou a ser considerada uma atividade social que exige organização do processo didático e educativo e o uso de instrumentos a fim de satisfazer uma necessidade de aprendizagem, transformando o conteúdo externo em mental e social em individual.

Diferente do ensino tradicional, metodologias ativas de ensino tem o aluno como principal agente responsável por sua aprendizagem e o professor um facilitador deste processo, elas favorecem a autonomia dos estudantes e apresentam oportunidades de problematização (BERBEL, 2011). Os *motivos relacionados à aprendizagem ativa* constituem ações e operações que possibilitam desencadear nos alunos o desenvolvimento do pensamento, por meio da reflexão e análise coletiva.

Nesta categoria de motivos destacamos metodologias didáticas como a aprendizagem baseada em problemas (Artigos 9,15 e 20), construção de modelos didáticos (Artigos 16 e 17), experimentação (Artigos 5, 12, 22 e 26), jogos (Artigos 6, 7, 10, 23,24, 34 e 36), sala de aula invertida (Artigos 25 e 31), uso de softwares (Artigos 3, 13, 14, 30 e 35), mapas conceituais (Artigo 33) e sequências didáticas (Artigo 27).

Conforme o artigo 15 (COSTA; GALEMBECK, 2017), a metodologia de resolução problemas permite despertar a curiosidade dos alunos na busca por solucioná-las, os alunos elaboram hipóteses que são discutidas em grupos com a ajuda do professor. Os autores destacam que para ensinar Bioquímica, “é indispensável o uso de estratégias motivacionais voltadas para cada público-alvo, com o objetivo de contextualizar o assunto para despertar interesse, estudo rápido e promover o aprendizado” (COSTA; GALEMBECK, 2017, p. 76).

O principal propósito da aprendizagem baseada em problemas é criar hábitos de estudo e de pensamento pela experiência reflexiva, principalmente a autonomia de aprendizagem e trabalho em equipe (FREITAS, 2012). Esta metodologia é considerada ativa, interativa e colaborativa visando criar possibilidades de desenvolvimento argumentativo.

A construção de modelos didáticos tridimensionais promove a aprendizagem ativa como demonstrado no artigo 16. Oliveira *et al* (2017) consideram que elaboração de um modelo tridimensional para ensinar as estruturas de proteínas promove o aprendizado, pois os alunos interagem com modelos concretos sobre assuntos abstratos e precisam sair sua da zona de conforto, ou seja, tornam-se ativos na elaboração do modelo e assim, conseqüentemente tornam-se mais motivados. O artigo 16 (OLIVEIRA *et al*, 2017) conclui que a construção de modelos tridimensionais gera resultados significativos e as dificuldades de aprendizagem de conceitos abstratos são superadas por meio da atividade que realizada em colaboração.

A característica lúdica dos jogos didáticos, como no exemplo do artigo 34 (BAËTA; HORNINK, 2019), aproxima os alunos e o professor, de maneira semelhante com a

metodologia de construção de modelos tridimensionais que implica a participação ativa. Os autores concluem que a partir do uso do jogo, “observou-se que os usuários puderam, de forma lúdica, interagir ativamente com os conteúdos abordados e, por meio das dificuldades apresentadas no jogo, tiveram a oportunidades de ampliar e rever seus conhecimentos” (BAÊTA; HORNINK, 2019, p. 33).

A experimentação também está relacionada à aprendizagem ativa, como destacamos nos artigos 22 (2017) e 26 (2018).

No artigo 22, Lima *et al* (2017) consideram a experimentação um fator que motiva e auxilia fortemente a aprendizagem, a memorização e mudança conceitual. Para os autores a participação ativa dos alunos pode acionar uma série de estruturas cerebrais associadas com a cognição e evidenciam que “motivação, envolvimento e experimentação são elementos de um mesmo viés educacional e se apresentam como indispensáveis na ação pedagógica” (Ibidem, 2017, p. 55).

Os autores do artigo 26 (2018) relatam que os alunos consideram o ensino por experimentação mais atraente e produtivo e justificam dizendo que “isso ocorre especialmente pelo fato de o estudante participar ativamente de seu processo de aprendizado, ao tentar solucionar os problemas apresentados pelo confronto direto com a realidade” (SALGUEIRO, *et al*, 2018, p. 45).

O Artigo 10 (VILHENA, *et al*, 2016) trata os jogos didáticos como instrumentos úteis para instigar a curiosidade e a criatividade dos alunos.

A metodologia de sala de aula invertida provoca a inversão da postura do professor e do aluno. Conforme descrito no artigo 25 (JUNIOR SOUZA; SOUZA; SANTOS, 2018), o professor assume uma postura de orientador e facilitador e o aluno sai da postura de expectador para um perfil mais ativo e colaborativo, contribuindo para a aprendizagem.

O uso de softwares como o descrito no artigo 35 (NASCIMENTO; SARAIVA, 2019) é considerado pelos autores um material didático dinâmico. Eles destacam que a simples utilização de um software (bioinformática) já desperta a curiosidade e produzindo melhores resultados na aprendizagem.

Ainda mapas conceituais e sequências didáticas representados no artigo 33 (ANDRADE, *et al*, 2019) e no artigo 27 (KIELING; GOULART; ROEHRS, 2018), respectivamente, são

ferramentas de ensino que colocam os alunos numa condição ativa de aprendizagem, pois diferente das aulas tradicionais, são os alunos que desenvolvem a aula.

Cada metodologia inclusa nesta categoria de motivos tem sua peculiaridade, mas percebemos que apesar das diferenças, a grande maioria busca colocar o aluno no centro da aprendizagem através da resolução de problemas e desafios que mobilizem potencial intelectual. Assim é possível que ocorra o desenvolvimento do pensamento científico e reflexivo, contribuindo para a autonomia dos estudantes (BERBEL, 2011).

#### 4.3 Desempenho acadêmico

Destacamos nesta categoria de *motivos relacionados ao desempenho acadêmico* os artigos (2, 8, 21, 28 e 29) que avaliaram a qualidade do ensino, as disciplinas e as metodologias didáticas utilizadas para ensinar bioquímica e áreas afins.

A avaliação faz parte do cotidiano dos alunos e professores em qualquer sistema de ensino e, portanto, o desempenho acadêmico é um dos motivos melhor observado quando nos referimos à educação e pode estar relacionado a um sistema de recompensas, normalmente a busca da aprovação.

Leontiev (1978) descreve o exemplo de um aluno fazendo a leitura de uma obra científica em preparação para uma avaliação:

Imaginemos um aluno lendo uma obra científica que lhe foi recomendada. Eis um processo consciente que visa um objetivo preciso. O seu fim consciente é assimilar o conteúdo da obra. Mas qual é o sentido particular que toma para o aluno este fim e por consequência a ação que lhe corresponde? Isso depende do motivo que estimula a atividade realizada na ação da leitura. Se o motivo consiste em preparar o leitor para a sua futura profissão, a leitura terá um sentido. Se, em contrapartida, se trata para o leitor de passar nos exames, que não passam de uma simples formalidade, o sentido da sua leitura será outro, ele lerá a obra com outros olhos; assimilá-la-á de maneira diferente (Leontiev, 1978, p. 97).

O autor continua narrando que outro aluno comenta ser desnecessária a leitura da obra, pois não fará parte da avaliação. Temos, portanto, algumas situações: este aluno pode simplesmente parar a leitura, pode continuar porque estava achando interessante ou ainda, ler porque será útil para sua profissão futura. Esses motivos nos fazem refletir sobre a intencionalidade dos professores ao propor uma atividade, exercício, experimento e avaliação.

Além do sistema de recompensas, o desempenho do indivíduo pode mudar à medida que ele atua com outros sujeitos no processo de ensino e de aprendizagem. Bolzan (2009, p. 41) enfatiza que precisamos considerar as experiências vividas pelo indivíduo, portanto, “a

bagagem sociocultural de cada sujeito é um fator que distingue suas condições para aprender durante as situações de ensino”.

O artigo 2 (GOLVÊA, 2015) se destaca ao demonstrar claramente essa categoria de motivos. Na metodologia descrita, foi proposta aos alunos a apresentação de seminários sobre um determinado assunto, sendo aberto para comunidade acadêmica. Conforme Aa autora, a execução dos seminários não proporcionou ganho de conhecimento para todas as turmas analisadas e um dos motivos poderia estar relacionado com a avaliação.

Na proposta Golvêa (2015), os alunos tinham a liberdade de escolher se os seminários iriam fazer parte do sistema de notas da disciplina ou não. Os resultados indicaram que os grupos que optaram por não fazer parte da nota demonstraram desinteresse pela proposta, ao contrário dos grupos em que esta atividade integrou a avaliação.

No artigo 21 (ANDRADE; SILVA; ZIERER, 2017) foram analisadas múltiplas causas para dificuldades de aprendizagem em bioquímica, mas enfatizou-se como mais importante à deficiência na educação básica. Os autores também destacaram que a rotina de estudos inadequada contribui para o baixo desenvolvimento acadêmico. Além disso, sugerem que diferentes atividades podem facilitar o ensino e aprendizado, tornando-se mais atrativas aos alunos.

Os artigos 8, 28 e 29 apontam que disciplinas como a bioquímica precisam se adequar com as características dos cursos, dando ênfase as profissões. No artigo 28 (NOGARA, *et al*, 2018) analisou-se diferentes metodologias utilizadas para ensinar bioquímica, no entanto, os autores concluem que apesar de existirem diversos trabalhos que versam sobre metodologias didáticas diferenciadas há poucos estudos que analisam a efetividade do aprendizado propriamente dito.

Assim, essa categoria demonstrou que existem grandes esforços para elevar os níveis de aprendizagem dos alunos, mas que o desempenho acadêmico ainda é mensurado apenas por notas, sendo mais difícil evitar as avaliações tradicionais e consequentemente validar outras metodologias para mensurar os níveis de aprendizagem dos alunos.

## **CONCLUSÃO**

Neste estudo, verificamos que a escolha por metodologias diferenciadas no ensino de Bioquímica e de áreas afins, se justifica pelas dificuldades de aprendizagem apresentadas,

principalmente pela necessidade compreensão dos conteúdos abstratos em um curto espaço de tempo. Percebemos que apesar de existirem inúmeros motivos que versam sobre os processos de ensino e de aprendizagem, muitas vezes, não compreendemos o significado conceitual dos motivos elencados.

Embora não estejam explícitos nos textos analisados quais são os significados destes motivos, acreditamos que a justificativa possa estar relacionada com a perspectiva da psicologia histórico-cultural do desenvolvimento humano. Por esse viés destacamos os *motivos relacionados à interação social, a aprendizagem ativa e ao desempenho acadêmico*.

Portanto, levando em consideração os aspectos apontados ao longo do texto, enfatizamos a complexidade que é ensinar e aprender Bioquímica e outras áreas, e, ressaltamos que nenhum dos motivos apontados deve ser pensado isoladamente. Os profissionais responsáveis pelo ensino necessitam prestar atenção nas escolhas metodológicas e em como essas escolhas vão refletir positivamente ou negativamente no aprendizado dos alunos.

Nesse sentido, concluímos que embora haja a intenção de interrelacionar as metodologias didáticas com eficácia do aprendizado, ainda não conseguimos aferir se houve um aprendizado real de médio e longo prazo com as metodologias utilizadas nos artigos citados aqui. Sugerimos que a forma de avaliação decorrente destes instrumentos seja mais eficiente, que a motivação seja pela necessidade de aprender, e sim, que esteja relacionada com a interação social, a aprendizagem ativa e o desempenho acadêmico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. E. F.; SANTOS, V. S. Ensino de Imunologia pela incorporação do conhecimento pelo teatro e a música. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 13, n. 3, 2015, pp. 06-20.

ALTERMANN, C. D.; GARCIA, A.; MELLO, P. C. Apresentação de resultados de pesquisa científica como estratégia para aumentar o interesse dos alunos em fisiologia. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 14, n. 1, 2016, pp. 90-98.

ANDRADE, V. R. M.; *et al.* Análise do conhecimento dos acadêmicos das áreas biológicas e saúde sobre o dogma "DNA – RNA – Proteína". **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 17, n. 1, 2019, pp. 1-15.

ANDRADE, R. S. B.; SILVA, A. F. S.; ZIERER, M. S. Avaliação das dificuldades de aprendizado em Bioquímica dos discentes da Universidade Federal do Piauí. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 15, n. 1, 2017, pp. 24-39.

BAÊTA, F. J. M; HORNINK, G. G. As aventuras de Kreber: jogo digital sobre o metabolismo energético. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 17, n. 1, 2019, pp. 16-36.

BERBEL, N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. **Semina: Ciências Sociais e Humanas**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 25-40, jan./jun. 2011.

BOLZAN, D. **Formação de professores: Compartilhando e reconstruindo conhecimentos**. Porto Alegre: Mediação, 2002.

CALVE, T. M.; ROSSLER, J. H.; SILVA, G. L. R. A aprendizagem escolar e o sentido pessoal na Psicologia de A. N. Leontiev. **Revista Quadrimestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional**. v.19, n. 3, Set/Dez 2015, pp. 435-444.

EISSA, S.; SABBOUR, A. Unidade Metabólica Baseada em Casos (CBMU): Um modelo para melhor compreensão do metabolismo no segundo ano do programa modular estendido de estudantes de medicina. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 14, n. 3, 2016, pp. 22-33.

FREITAS, R. A. M. M. Ensino por problemas: uma abordagem para o desenvolvimento do aluno. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 403-418, abr./jun. 2012. Acesso em 17 jul. 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ep/v38n2/aop478.pdf>

GLASER, V.; PIERRE, P. M. O.; FIOREZE, A. C. C. L. Estratégias didático-pedagógicas como alternativas para o ensino de Biologia Celular: curso aos professores de escolas públicas de Ensino Médio de Curitiba-SC. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 15, n. 2, 2017, pp. 49-74.

GOLVÊA, C. M. C. P. Seminários: proposta didática para o ensino de Genética. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 13, n. 3, 2015, pp. 22-35.

GONÇALVES, R. *et al.* O uso de fóruns de discussão sobre tópicos de interesse geral como estratégia para melhorar o interesse dos estudantes em Fisiologia. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 15, n. 1, 2017, pp. 06-14.

HOLANDA, V. N. *et al.* Liga acadêmica de bioquímica clínica: experiência de implantação e participação na primeira liga acadêmica numa instituição de ensino superior de Juazeiro do Norte –Ceará. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 13, n. 3, 2015, pp. 87-99.

JUNIOR SOUZA, A. A.; SOUZA, G. P. V. A.; SANTOS, E. A. Ensino híbrido e gamificação aplicado no ensino de Bioquímica. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 16, n. 2, 2018, pp. 87-103.

KIELING, K. M. C; GOULART, A. S.; ROEHRS, R. Ciclo celular: construção e validação de uma sequência didática pela metodologia da engenharia didática. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 16, n. 2, 2018, pp. 49-70.

LEONTIEV, A. **O desenvolvimento do psiquismo humano**. Lisboa: Horizonte universitário. 1978.

\_\_\_\_\_. **Actividade, conciencia, personalidad**. 2ª reimpresión. Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo e Educación, 1985.



LIMA, A. S. *et al.* Atividades experimentais nos anos iniciais do ensino fundamental: ferramenta metodológica para a construção do processo de ensino aprendizagem. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 15, n. 2, 2017, pp. 40-63.

LOMPSCHER, J. Motivation and activity. **European Journal of Psychology of Education**, 1999, Vol.XIV, n° 1, pp.11-22.

MARINO FILHO, Armando. **A atividade de estudo no ensino fundamental: necessidade e motivação**. Marília, 2011, 236 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista, 2011.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003. Acesso em 03 out. 2019. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132003000200004>.

NASCIMENTO, Y. A. P.; SARAIVA, L. F. M. Ferramentas de bioinformática aplicadas ao ensino da biotecnologia. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 15, n. 2, 2019, pp. 77-90.

NOGARA, P. A.; *et al.* Percepção de estudantes de graduação de uma Universidade brasileira sobre a disciplina de Bioquímica. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 16, n. 1, 2018, pp. 5-24.

OLIVEIRA, C. S. *et al.* O hormônio insulina como um modelo para ensinar a estrutura tridimensional das proteínas. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 17, n. 1, 2019, pp. 114-130.

REVISTA DE ENSINO DE BIOQUÍMICA. ISSN: 2318-8790, 2015-2019.

SALGUEIRO, A. C. F. *et al.* Resolução de problemas no ensino de Ciências: utilização de *Artemia salina* como modelo experimental para o estudo de plantas medicinais na escola básica. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 16, n. 2, 2018, pp. 31-47.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23ª edição. São Paulo: Cortez Editora, 2007.

SFORNI, M. S. F. **Aprendizagem conceitual e organização do ensino: contribuições da teoria da atividade**. Araraquara: JM Editora, 2004, p.200.

SILVEIRA, J. T; ROCHA, J. B. T. Produção científica sobre estratégias didáticas utilizadas no ensino de Bioquímica: uma revisão sistemática. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 14, n.1, 2016, pp. 07-21.

VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. Tradução Paulo Bezerra. São Paulo: Martins Fontes, 2001. p.496.

\_\_\_\_\_. **A formação social da mente**. Tradução José Cipolla Neto, Luís Silveira Menna Barreto, Solange Castro Afeche. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2002.

\_\_\_\_\_; LURIA, A; R. LEONTIEV, A. N. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. Tradução: Maria da Pena Villalobos. 14ª ed. São Paulo: Ícone, 2016.

VILHENA, L. *et al.* Jogo Bozó Genético: uma proposta didática como alternativa para o ensino da replicação do DNA no ensino médio. **Revista de ensino de Bioquímica**, v. 14, n. 3, 2016, pp. 57-67.

## Students' conceptions of biological membrane models

### *Concepções de estudantes sobre modelos de membranas biológicas*

Vanessa Aina Person<sup>1\*</sup>, João Batista Teixeira da Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa

Maria, RS, Brasil.

\*e-mail: vaynaperson@hotmail.com

Support: CAPES/PROEX.

### **Abstract**

The biological membrane is the central theme of this study. Frequently, the subject about biological membranes are treated superficially and as simple cell structures. However, the membrane structure and its dynamic are complex and crucial to life existence. This study investigated the conceptions of undergraduate and graduate students about biological membranes and their knowledge about the models that evolved along the recent history of biological sciences. The results revealed that students describe only the Singer and Nicolson membrane model, which was published in 1972, but are unaware of the existence of other models of biological membranes. None of the students mentioned other than the fluid-mosaic model. Our results indicated that the conceptions of students about are associated with two core ideas, function and composition. We suggest that the biological membrane concepts should be taught in a non-mechanical way, including the critical and historical aspects that pushed the evolution of the models.

**Keywords:** *Students' perception; Biochemistry; Teaching.*

### **Resumo**

A membrana biológica é o tema central deste estudo. Frequentemente, os assuntos relacionados às membranas são tratados superficialmente e como uma estrutura celular muito simples. No entanto, a estrutura da membrana e sua dinâmica são complexas e cruciais para a existência de vida. Este estudo investigou as concepções de alunos de graduação e pós-graduação sobre membranas biológicas e seus conhecimentos sobre os modelos que evoluíram ao longo da história recente das Ciências Biológicas. Os resultados revelaram que os alunos conhecem o modelo de membrana descrito por Singer e Nicolson, publicado em 1972, mas desconhecem a existência de outros modelos de membranas biológicas. Nenhum dos alunos mencionou outros modelos, apenas o modelo de mosaico fluido. Nossos resultados mostram que as concepções dos alunos estão relacionadas com duas ideias centrais, função e composição. Sugerimos que os conceitos de membrana biológica sejam ensinados de forma não mecânica, incluindo os aspectos críticos e históricos que impulsionaram a evolução dos modelos.

**Palavras-chave:** Percepções de estudantes; Bioquímica; Ensino.

## 1 Introduction

The Sciences that study life at the molecular and microscopic level are constantly evolving, making learning contents more complex, abstract and multi and interdisciplinary [1-3]. In view of the massive quantity of subjects that compose the curricula of elementary and high schools and universities, it is a great challenge for teachers to choose which set of knowledge are essential to generate quality learning [1]. Empirically, our experience and practices point out to a homogenous behavior of the teachers in opting to work superficially with a large quantity of complex contents. The main results for the majority of students is the construction of transitory and fragmentary mental models that will contribute very little to understand biology and other science subjects [4].

Our interpretation is in accordance with the results we obtained in a survey about undergraduate student's perceptions about biochemistry [5], where most students had a negative view of the discipline or the teachers. The main complains about the teachers was the absence of concrete correlations between the topics covered in the biochemistry courses with the future professions of the students. Furthermore, the lack of abstraction skills but essential subjects in chemistry and cell biology appeared also to have contributed to the negative views about biochemistry. In line with these interpretations, recent evaluations with pre-service biology teachers have indicated the importance of indeep reflections about methodologies used to taught complexes subjects such as molecular biology, particularly, in view of the difficulty of pre-service teacher in understanding abstract but critical concepts needed to grasp biology at the molecular and atomic level [6].

When referring to microscopic structures and molecular phenomena (which are not visualized with the naked eye) scientists and teachers have to generate models and visual representations, such as images, diagrams, graphs, among others [7]. The teaching of complex phenomena can also be facilitated by the use of analogies, metaphors and speeches [8-9]. These representations are commonly found in textbooks and ideally should be tools facilitated our understanding about physicochemical and biological processes [10]. However, the fragmented structure of complex contents about science

presented to us during our entire school life does not allow us the proper assimilation and accommodation of meaningful and long-term models about basic physicochemical subjects required to understand biology at molecular level [11].

The currently accepted biological membrane model was described in 1972 - Singer and Nicolson [12], but before building and consolidate this model, many work and hypotheses were proposed by scientists. Pioneering experimental studies related to biological membranes began to occur around the first two decades of the 20th century, where they were based on studies of lipid monolayers [13-15]. In this period approximately of half a century of studies, the biological membrane model evolved from lipid monolayer to lipid bilayer - Gorter and Grendel-1925 [15], sandwich model - Danielli and Davson-1935 [16] to mosaic-fluid model -Singer and Nicolson- 1972[12]. However, during the curricula of biological sciences or biochemical courses, the history of evolution of cell membrane concepts is superficially or frequently not covered.

In this research, we seek to investigate the spontaneous conceptions of undergraduate and graduate students about biological membranes, especially if students are aware of historical aspects about the conceptual evolution of biological membranes. Specifically, we also aimed to compare the concepts from graduate students enrolled in master or PhD courses in Biochemistry with science undergraduates students.

## **2 Material and Methods**

### **2.1 Data collection**

Data were collected at the end of the 2019 academic year and beginning of the 2020 academic year with the approval of students and teachers. Data were collected using a questionnaire containing 3 basic questions (see Table 1).

**Table 1:** Questionnaire applied to undergraduate and graduate students at a Brazilian university

- 
1. When we talk about biological membranes, what comes to your mind?
  2. Draw how you imagine a biological membrane.
  3. Do you know biological membrane model(s), explain.
- 

To analyze the responses written by the students, we used textual discourse analysis [17] and the drawings were analyzed as described by Reiss and Tunnicliffe [18].

### **2.2 Sample**

This research was carried out with 26 undergraduate and graduate students at a public university in Brazil. The characteristics of the sample are described in Table 2.

**Table 2:** Training and number of participants

Training area	Undergraduate	Master students Biochemistry	Doctoral students in Biochemistry
Chemistry	6	---	3
Biology	1	5	3
Nutrition	---	---	2
Biomedicine	---	---	2
Pharmacy	---	---	2
Biochemistry	---	---	2
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>14</b>

Based on the aforementioned methodologies, we analyzed the responses and images and separated them according to their similarities, which resulted in categories that will be described below.

### 3 Discussion and results

#### 3.1 Students' conceptions about biological membranes

The analysis of the answers given to the first question revealed two central ideas: function and composition. Table 3 shows this main ideas and the relationship with the ideas pointed out by the students, as well as the frequency of citations.

**Table 3.** Relationship between the categories that emerged from the analysis and the central ideas pointed out by the students about the biological membrane.

Category	Core idea	Undergraduates	Graduates	Total
<b>Function</b>	<i>Selective barrier</i>	5	9	14
	<i>Delimits the cells and organelles</i>	2	10	12
	<i>Interaction between neighboring cells</i>	---	1	1
	<i>Allows maintenance of life</i>	---	1	1
	<i>Obtention of energy</i>	---	1	1
	<i>Maintains cell work</i>	1	---	1

	<i>Acts in the immunological process</i>	---	2	2
<b>Composition</b>	<i>Lipid bilayer</i>	1	9	10
	<i>Proteins</i>	1	7	8
	<i>Phospholipid bilayer</i>	---	6	6
	<i>Carbohydrates</i>	---	4	4

The following are examples that demonstrate each category that emerged from the analysis.

Regarding the **Function category**, 7 central ideas are listed:

- The biological membrane as a selective barrier function represented in the example *“Selective barrier that controls the entry and exit of substances from the cells”* (Graduate); *“Selective layer formed by a lipid bilayer”* (Undergraduate).
- The biological membrane as a function of delimiting the cells and organelles represented in the example *“The first idea that comes to mind is that biological membranes have the primary function of involving and delimiting the space of specific components, such as cells or organelles”* (Graduate); *“A structure that “surrounds” other structures by involving them and separating them from the rest. For example, in a cell, a membrane acts as a layer to separate the contents from the rest, but still allows exchanges between the outside and inside”* (Undergraduate).
- The biological membrane as a function of interaction between neighboring cells as shown in the example *“Biological membranes are layers formed of phospholipids and proteins that line cells and organelles allowing or preventing the entry and exit of molecules, ions, as well as the interaction between neighboring cells”* (Graduate).
- The biological membrane as a function of maintaining of life as shown in the example *“These are phospholipid bilayer systems that enclosed environments that enables the sustainability of life and its processes”* (Graduate).
- The biological membrane as an structure involved in the

obtainment of energy: *“They have a primary function in obtaining energy, such as the mitochondrial membrane and the complexes located in it (I, II, III and IV), in the electron transport chain”* (Graduate).

- The biological membrane involved in the maintenance of the cell's work, for example *“The membranes maintain the work that the cells need to do, allow the passage of substances, selecting what can or cannot enter the body”* (Undergraduate).
- The biological membrane role in the immune process, as shown in the example *“They act by hosting, linked to it, antigen (in the case of an antigen presenting cell), as well as antibodies that significantly contribute to the immune process”* (Graduate).

In the **Composition category**, four central ideas were mentioned:

- The biological membrane is composed of Lipid Bilayer: *“Lipid bilayer, formed mainly by phospholipids”* (Graduate); *“Lipid bilayer”* (Undergraduate).
- The biological membrane is composed of proteins: *“Biological membranes are layers formed of phospholipids and proteins”* (Graduate); *“They have channel, extrinsic or intrinsic proteins that allow the processes of large and small molecules from the extracellular to the intracellular environment and vice versa”* (Undergraduate).
- The biological membrane is composed of phospholipids: *“The cell membrane is formed by a bilayer of phospholipids with polar heads (facing outward) and apolar tail (facing inward of the membrane) and transmembrane proteins that allow communication with other cells, entry and exit of substances”* (Graduate).
- The biological membrane is composed of carbohydrates: *“The membrane is formed by a lipid bilayer, cholesterol, proteins and carbohydrates (glycocalyx)”* (Graduate).

It is noted that the most cited functions were selective barrier and boundary of the cells and organelles. This data shows that students did not



express their ideas spontaneously, as they described concepts that we routinely find in didactic books used in undergraduate courses, such as for example,

The plasma membrane defines the periphery of the cell, separating its contents from the surroundings. It is composed of lipid and protein molecules that form a thin, tough, pliable, hydrophobic barrier around the cell. The membrane is a barrier to the free passage of inorganic ions and most other charged or polar compounds [19].<sup>(p. 3)</sup>

Although cited less frequently, we found more robust concepts, as shown by examples of functions related to maintenance of life, obtention of energy, and participating in immunological processes.

The difference in conceptions may be related the specific subject of research of student in postgraduate courses, which may not be directly related to cell membranes or that they have not realized that most phenomena related to life is connected to biological membranes at some point.

### **3.2 Representational levels of students' conceptions of biological membranes**

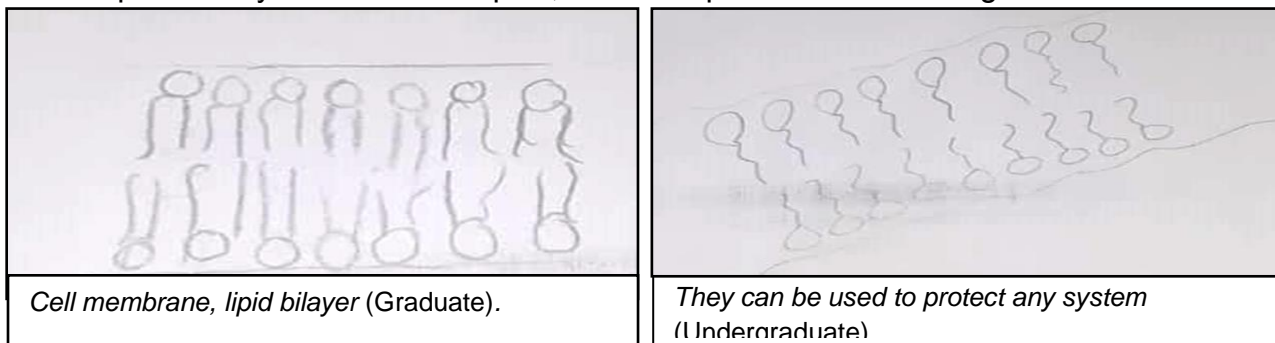
According to Reiss and Tunnicliffe [18], the only way for a researcher to understand a student's mental model about a certain phenomenon is through models expressed about this phenomenon. Therefore, we developed a system for evaluating the drawings, which corresponds to 3 levels, as shown in Table 4.

**Table 4.** Categorization system for representations of students' conceptions about biological membranes

Level	Description of concept
Level 1	Students consider that biological membranes are composed only of lipids.
Level 2	Students consider that biological membranes are composed of lipids and proteins, but do not explain the function of these components.
Level 3	Students show phospholipids, proteins and carbohydrates as composition of the membrane, in addition to mentioning the external and internal environment of the membrane.

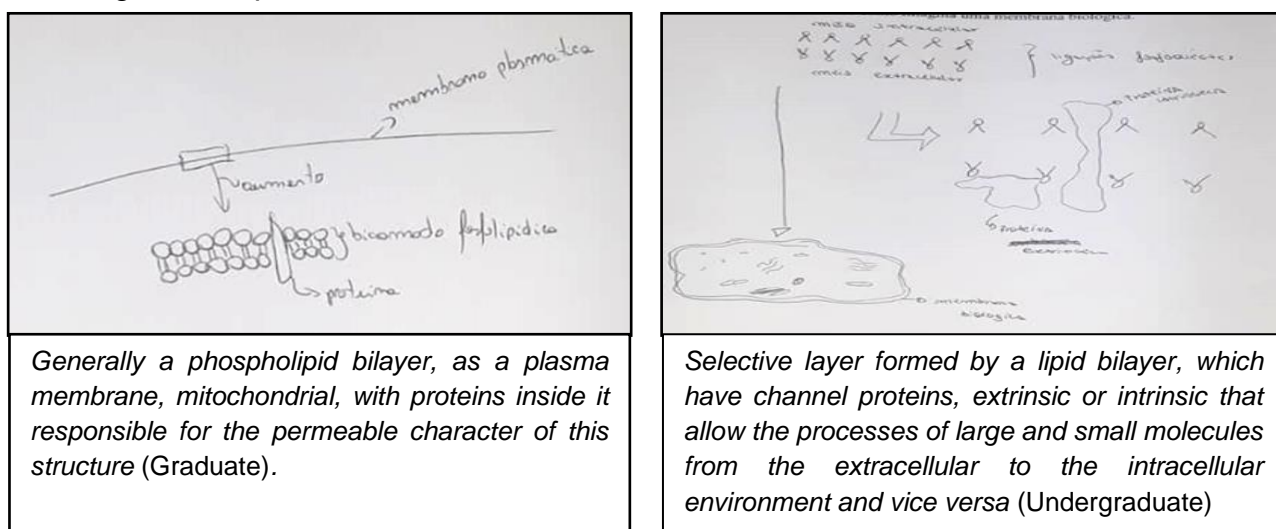
We have also compared the answers collected in question 1 and the drawings in question 2. The following are examples of the drawings made by the students and the respective answers given to question 1.

Level 1 represents a very simplistic biological membrane concept, as it is composed only of membrane lipids, two examples are shown in figure 1.



**Figure 1.** Representation of the mental model level 1.

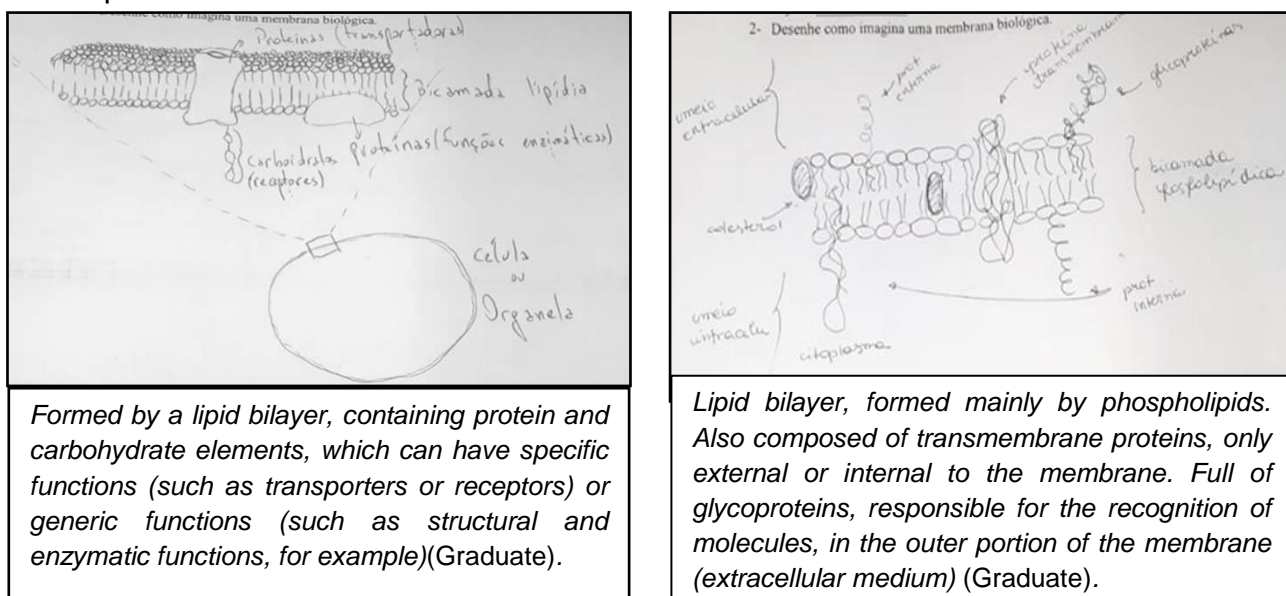
Level 2 is shown in the next figure. The figure shows some arrows indicating the composition of the membrane.



**Figure 2.** Representation of the mental model level 2.

Figure 3 shows examples of representations categorized at level 3.

The students identified in more detail how they imagine a biological membrane, their representations are in accordance with the fluid mosaic model.



**Figure 3.** Representation of the mental model level 3.

The data show that the level of conceptual representation has increased in some way with the level of education, shown in figures 1, 2 and 3. We highlight especially figure 3 which shows two examples of graduates, we have not found this level of representation in the drawings of graduation student.

However, we cannot affirm, since many graduate students made representations at all levels indicated in the discussion (see table 5).

It is noteworthy that many post-graduate students were doing research in the area of biochemistry, which involves processes that occur in the biological membranes, but have not expressed them in their responses and drawings.

**Table 5. Conceptual representation and level of education.**

Levels	Undergraduate	Graduate
Level 1	4	6
Level 2	3	8
Level 3	---	5

### 3.3 Biological membrane models

Given the importance of the nature of the development of scientific knowledge [1], and the complete absence of biological membrane models in addition to the mosaic-fluid model by Singer and Nicolson [12], we seek to investigate how scientists came to the currently accepted definition of biological membrane.

All living organisms must necessarily have cells and for cells to exist, a membrane is needed to isolate them from the external environment and allow the maintenance of life [20]. The scientific knowledge related to the existence of the cell dates from the middle of the 17th century [21], however, in this article we focus on research carried out since the first decades of the 20th century, developed mainly by Langmuir [13], Gorter and Grendel [15], Danielli and Davson [16] and Singer and Nicolson [12].

Irving Langmuir [13], was interested in investigating the physical and chemical properties of solids and liquids. He tested different types of oils on water surfaces, described the properties of the molecules and concluded that unsaturated fatty acids occupy a larger water surface than saturated fatty acids. He also concluded that the film formed on the water surface has a deep molecule due to the chemical nature of the oil.

In 1925, Gorter and Grendel [15] investigated the composition of the cell membrane of animal cells (rabbit, goat, dog, guinea pig, sheep and human). They used blood cells (erythrocytes) because they are easy to isolate and extract lipids, as well as because they have no other organelles other than the plasma membrane itself. These researchers used the technique developed by Langmuir to measure the surface of lipids extracted from erythrocytes and concluded that the area occupied by the lipids is twice as large when compared to the area occupied by the intact cells, suggesting that there were enough lipids to form a layer with two thickness molecules, and therefore, a lipid bilayer.

The idea that biological membranes are composed of a fluid mosaic structure was proposed in 1935 by Danielli and Davson [16]. The authors discuss the expected permeability properties of very thin films and hypothesize that a layer of proteins is required to be present in any lipid in contact with the fluid content of the cell. The authors had the intention of showing that a pore structure had a relatively permanent existence in lipid films and that proteins

would be able to show selective permeability for molecules of different sizes. The membrane model proposed by the authors became known as the sandwich model, in which it was suggested that the cell surface is composed of a thin film of lipids with a layer of proteins adsorbed on it on both sides, and that this film is able to distinguish between molecules of different sizes and characteristics of solubility and ions of different charges.

From a physiological perspective, it is essential to understand the structure that underlies dynamic systems, particularly through the composition of the cell membrane, which reflects a lot on the function of each type of cell [22].

Like Danielli and Davison, Singer and Nicolson also refer to the biological membrane as a fluid mosaic. However, they caution that generalizations should be avoided. In 1972, the authors published an article explaining the fluid mosaic model and emphasizing that to achieve a satisfactory understanding of how any biological system works, the molecular composition and structure of the system must be detailed. According to the authors, the biological membrane structure in fluid mosaic was the only model that followed the laws of thermodynamics. This model can be applied to most biological membranes, such as plasma membrane, intracellular membranes, mitochondria and chloroplasts, however, there may be other similar systems such as the myelin sheath, and the membrane of some viruses that can be rigid instead of fluid.

Also in this model, Singer and Nicolson highlight the diversity in the composition, function and structure of the membrane's integral and peripheral proteins as well as the heterogeneous lipid composition. The authors criticize the classic model, in which the lipid bilayer would be sandwiched between two monolayers of proteins and argue that this model is not stable taking into account the laws of thermodynamics.

In a more recent update [23], the fluid mosaic model remains relevant to describe the basic nanoscale of biological membranes. However, information has been added that shows the importance of membrane domains, protein complexes, as well as the importance of cytoskeletal structures and extracellular matrix, which act in rapid and selectively responses to stimuli from

outside and inside the cell.

Based on the literature review described above, we analyzed the responses given by students to question 3. Table 6 shows that 62% of respondents knew about the current mosaic-fluid model, 10% cited some didactic model, such as models made with recyclable materials, and 28% did not remember or cited other aspects related to the function of membranes.

**Table 6:** Membrane models

<b>Mosaic-fluid model</b>	<b>Didactic model</b>	<b>Not remember or cited other aspects</b>
62%	10%	28%

Although consciously 28% of the students did not mention the fluid mosaic model, the representations expressed in the drawings show that 100% of the students were referring to this model.

#### **4 Concluding remarks**

We recognize that the conceptions and drawings presented here come from a restricted group of students, and generalizations should not be made. However, taking into account all aspects pointed out throughout the text, we conclude that basically the teaching of biological membranes has textbooks as the primary source of knowledge and we do not even think about the subjects we are presenting to students.

Thus, both the conceptions described by the students and the images drawn showed that they originated from mechanical learning-teaching classical approaches, preponderantly found in basic schools and universities. In fact, few students were able to express knowledge in evolutive or functional terms (i.e., the importance of membranes as an initial step for evolution from a pre-biotic to a biotic chemistry or as an supramolecular structure to conserve energy). In general, we can interpret this as an indication that teachers and students are not in the habit of thinking more abstractly about atomic or molecular phenomena or structure (e.g. the biological membranes). Another outcome that we were expecting was to find a more comprehensive view about membranes from the part of the graduate students in relation to undergraduate students. However, this was not so evident possibly because our study had limitations, as

we used open questions and the answers were superficial. Another limitation is that we do not conduct interviews with participants to find out what they meant by the respective drawings.

We suggest that when teachers work with concepts that seem simplistic for understanding, that the teachers themselves reflect deeply if they have already thought about their pedagogical praxis, if they have already thought about the biological membrane in a way that is not only mechanical, in biological, chemical and physical terms. Normally, the biology or biomedical teachers and students use to think membranes as a simple mechanical barrier, with some magical properties (transport, selectivity, etc); without connecting them to physicochemical properties of the membrane constituents. The physicochemistry of biological membranes is perceived superficially. In short, it is important to emphasize that that teachers and students should thrive to understand better basic aspects of membranes (including the structures and types interactions of lipids and proteins at atomic level), instead of privileging an enormous quantity of information that will be forgotten within a few months or even weeks after the end of a biochemistry course.

## References

- [1] Tibell L, Rundgren C. Educational Challenges of Molecular Life Science: Characteristics and Implications for Education and Research. *CBE—Life Sciences Education*. 2010;9(1):25-33.
- [2] De Andrade R, E Silva A, Zierer M. Avaliação das dificuldades de aprendizado em Bioquímica dos discentes da Universidade Federal do Piauí. *Revista de Ensino de Bioquímica*. 2017;15(1):24-39.
- [3] Beckhauser P, Almeida E, Zeni A. O Universo Discente E O Ensino De Bioquímica. *Revista de Ensino de Bioquímica*. 2006;4(2):16-22.
- [4] Qiao Y, Shen J, Liang X, Ding S, Chen F, Shao L et al. Using cognitive theory to facilitate medical education. *BMC Medical Education*. 2014;14(1).
- [5] Nogara P, Schmitz G, Eisenhardt L, Moura B, Rocha J, Oliveira C. Percepção de estudantes de graduação de uma Universidade brasileira sobre a disciplina de Bioquímica. *Revista de Ensino de Bioquímica*. 2018;16(1):5-24.
- [6] Schallenberger K, Soares N. O ensino de Biologia Celular e Molecular na formação inicial docente a partir do método Team-based-learning. *Revista de Ensino de Bioquímica*. 2020;20(1):68-81.
- [7] Offerdahl E, Arneson J, Byrne N. Lighten the Load: Scaffolding Visual Literacy in Biochemistry and Molecular Biology. *CBE—Life Sciences Education* [Internet]. 2017;16(1):11.
- [8] Treagust D, Tsui C. Multiple representations in biological education. Dordrecht: Springer; 2013.
- [9] Johann L, Groß J, Messig D, Rusk F. Content-Based and Cognitive-Linguistic Analysis of Cell Membrane Biology: Educational Reconstruction of Scientific Conceptions. *Education Sciences*. 2020;10(6):151.
- [10] Rundgren C, Tibell L. Critical Features Of Visualizations Of Transport Through The Cell Membrane—An Empirical Study Of Upper Secondary And Tertiary Students' Meaning-Making Of A Still Image And An Animation. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2009;8(2):223-246.
- [11] Tian Z, Zhang K, Zhang T, Dai X, Lin J. Application of Ausubel cognitive assimilation theory in teaching/learning medical biochemistry and molecular biology. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2019;48(3):202-219.
- [12] Singer S, Nicolson G. The Fluid Mosaic Model of the Structure of Cell Membranes. *Science*. 1972;175(4023):720-731.
- [13] Langmuir I. The constitution and fundamental properties of solids and liquids: liquids. *Journal of the American Chemical Society*, 1917;39:1848–906.



- [14] Blodgett K. Films Built by Depositing Successive Monomolecular Layers on a Solid Surface. *Journal of the American Chemical Society*. 1935;57(6):1007-1022.
- [15] Gorter E, Grendel F. On bimolecular layers of lipoids on the chromocytes of the blood. *The Journal of experimental medicine*, 1925;41:439–43.
- [16] Danielli JF, Davson H. A contribution to the theory of permeability of thin films. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 1935;5:495.
- [17] Moraes, R.; Galiazzi, M. *Análise textual discursiva*. 3rd ed. Editora Unijuí; 2016.
- [18] Reiss, M. J.; Tunnicliffe, S. D. Students' Understandings of Human Organs and Organ Systems. *Research in Science Education*, 2001 31(3):383-399.
- [19] Lehninger A, Nelson D, Cox M. *Principios de bioquímica*. 6th ed. Porto Alegre: Artmed; 2016.
- [20] Tien H, Ottova-Leitmannova A. *Advances in planar lipid bilayers and liposomes*. Amsterdam: Elsevier Academic; 2005.
- [21] Hooke R. *Micrographia, or Some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon*. London: J Martyn and J. Allestry; 1665.
- [22] Schmitt, F. O.; The Ultrastructure Of Protoplasmic Constituents. *Physiological Review* 19(2): 270-302.
- [23] Nicolson, GL. Update of the 1972 Singer-Nicolson Fluid-Mosaic Model of Membrane Structure. *Discoveries*, 2013, Oct-Dec; 1(1): e3.

### **Acknowledgments**

CAPES/PROEX

### Artigo 3

## **Our kitchen as a biochemistry laboratory: macroscopic observations and inferences on the chemical composition and functions of biological membranes**

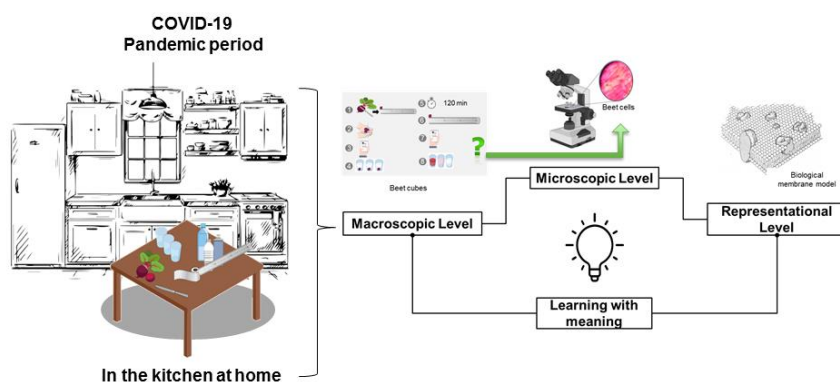
Vanessa Aina Person,\* João Batista Teixeira da Rocha

*\*Department of Biochemistry and Molecular Biology (UFSM), Center for Natural and Exact Sciences - CCNE 97105-900, Santa Maria, RS, Brazil. <https://orcid.org/0000-0001-6787-1853>. Email: [vaynaperson@hotmail.com](mailto:vaynaperson@hotmail.com)*

### **ABSTRACT**

This article describes a didactic approach that aims to improve the learning of scientific concepts through correlations between the subjective microscopic world and the objective macroscopic world, taking into account one of the central themes of science teaching, which is the study of cells from the understanding of the phenomena that occur in membranes and their biochemical correlations. Due to the COVID-19 pandemic, this proposal was developed with undergraduate chemistry students, in the form of remote teaching. The exercises were performed individually by the students in the kitchen of their homes. We used a known experimental protocol on physical and chemical factors that interfere with the integrity of biological membranes and analyzed whether it is possible to establish correlations between macroscopic observations and scientific concepts. To analyze the results obtained, we applied a pre-experiment questionnaire and analyzed the post-experiment reports produced by the students. Our analysis indicates that it is possible to trigger the conceptual meaning of biochemical phenomena that occur in biological membranes from macroscopic observations visualized through experimentation.

## GRAPHICAL ABSTRACT



## KEYWORDS

*Chemistry undergraduate students/pre-service teaching, Teaching Biochemistry, Practical approach, Cell membrane biochemistry, Chemical education research.*

## INTRODUCTION

The study of cell membranes is the study of the most elementary structures that enable function and stabilize the structure of cells (BAADEN, 2019; NELSON; COX; LEHINGER, 2019; YEAGLE, 2016). We delimit study to the teaching of biological membranes and their biochemical correlations, as we consider structures that are fundamental for the maintenance of life, and which, despite their importance, are sometimes treated superficially or as simple cellular structures (JOHANN et al., 2020).

The study of biological membranes, which comprises their composition, structure and function (lipids, proteins, carbohydrates, transport, cell growth, neuronal function, immune response, cell signaling, enzymatic activity, nutrient exchange, elimination of toxic products, support for proteins, among others), it is a current, interdisciplinary, complex and challenging topic (GALVÃO et al., 2012; JOHANN et al., 2020; LOMBARDO, 2021).

The biochemical phenomena that occur in these structures exist on scales beyond our temporal, perceptual or experiential limits, in

other words, involves phenomena at the microscopic and submicroscopic and is highly dependent on external representations and symbolic language (ANDERSON et al., 2013; JOHNSTONE, 1991, 2000; SCHÖNBORN; ANDERSON, 2006b), which can be quite difficult and confusing(SCHÖNBORN; ANDERSON, 2006a).

From the point of view of education, different pedagogical tools (such as representations and visual models, analogies, metaphors and experiments) are used to materialize theoretical knowledge that is not possible to visualize directly. Therefore, understanding scientific phenomena will depend on our ability to access and interact with them indirectly(JACOBSON; KOZMA, 2000). We recognize that the representational levels proposed by Johnstone(JOHNSTONE, 1991, 2000) are predominant in science teaching, especially in chemistry teaching. However, these levels of representation have some limitations when referring to biochemical and biological phenomena, as these, unlike chemistry, involve different hierarchically organized biological entities(ANDERSON et al., 2013), in which the properties of the macro level emerge from the interrelationships of the micro level (cellular and molecular)(PENNER, 2000).

Thus, we propose an experimentation activity as an important didactic tool to help better understand complex phenomena that emerge from the interaction between the biological membranes of beet cells with external agents.

The following question guided our study: Is it possible to trigger the conceptual significance of biological/biochemical phenomena that occur in biological membranes from macroscopic observations visualized through experimentation? To obtain answers to this question, data were collected from two research instruments: a previous questionnaire and an experimental report, which subsequently underwent a content analysis and categorization.

## **METHODS**

### **Context and Participants**

This research was carried out in the discipline of Experimental Biochemistry offered in the last semester of a Graduation Course in Chemistry (Chemistry Teachers), at a Public University in Brazil.

The Experimental Biochemistry course usually takes place in a chemistry teaching laboratory with the main and general objective of creating possibilities for the development of simple experiments that can be reproduced in schools.

In 2020, due to the pandemic, we reformulated the course for distance learning. Classes and experiments were held at home and once a week we had a 4-hour class via Google Meeting. Classes were held synchronously and asynchronously and activities were discussed online or posted on the Google Classroom platform.

The experimental activity proposed for this study was part of a discipline class, where the evaluation took place through a questionnaire and reports.

Nine students participated in this study, who was attending the last semester of the graduation course in Chemistry, configuring this investigation in a case study. This study was approved by the Research Ethics Committee (n° 057328) of the participating institution and authorized by the students.

### **Data Sources and Analysis**

Data were collected from a previous questionnaire and experimental report, whose data were organized and analyzed according to content analysis (BARDIN, 2011), which consists of three main steps:

1) *Pre-analysis*: this is the organization of the data, where a floating reading is carried out with the objective of systematizing the initial ideas.

2) *Exploration of the material*: the coding units are chosen for the elaboration of categories.

3) *Treatment of results*: the raw results are treated in order to be significant and valid, that is, it refers to the interpretation of the textual or illustrative content of the data obtained.

### **The experimental class**

To demonstrate the physical and chemical factors that interfere with the integrity/permeability of biological membranes, we adapted an experimental class protocol proposed by Galvão and Collaborators (2012) (see support information). The authors propose that beet cubes be used as an experimental model. The purpose of using beetroot (*Beta vulgaris L.*) as biological material for this experiment is the colorful characteristic of this vegetable. Beet cells contain a water-soluble red pigment (betacyanin)(AZEREDO, 2009), which after treatment with external agents (such as temperature and solvents), it is possible to observe macroscopic phenomena and infer what would occur in the cells.

In the first class, we made the experimental protocol available (see figure 1) and explained to the students how it was to develop the activity. At this first moment, we invite students to answer the following question: what do you think will happen microscopically and macroscopically to beets after exposure to chemical and physical agents suggested for the experiment?

The students answered this question through the Google Classroom platform, where it was registered for later comparison with the results obtained in the experiment.

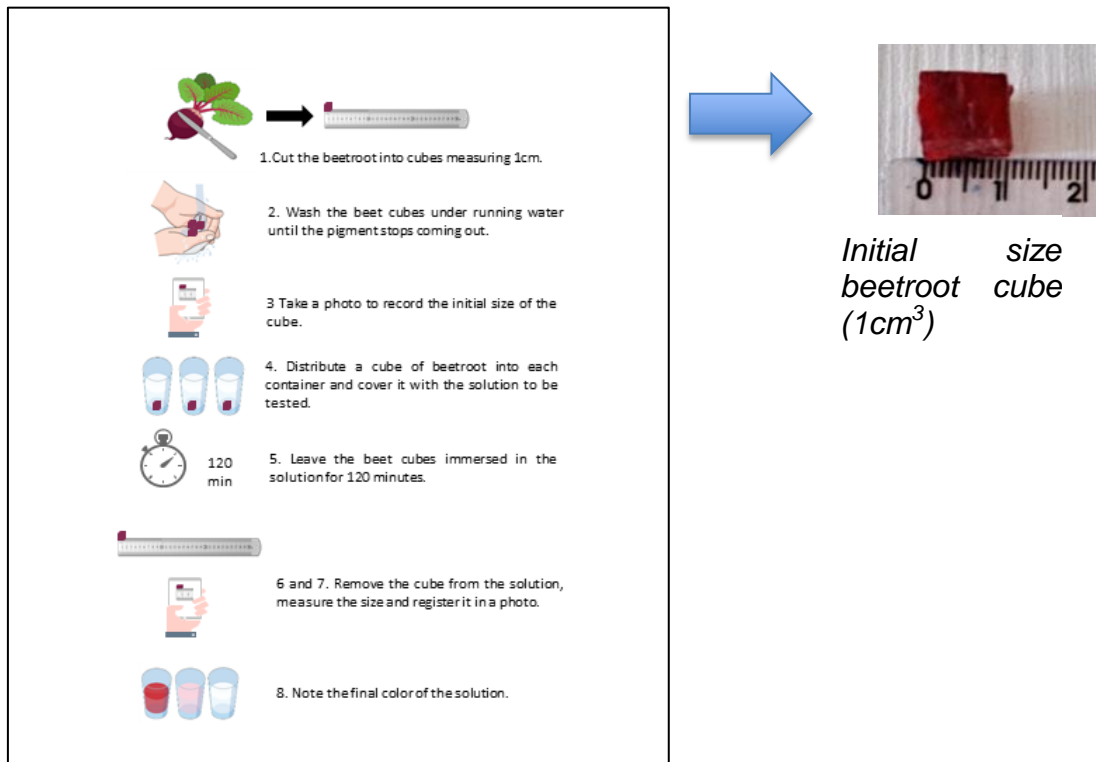


Figure 1. Steps in the experimental protocol on chemical and physical factors that interfere with the integrity of biological membranes.

Subsequently, the students were instructed to carry out the experimental protocol in the kitchen of their residences. We instructed the students to make observations and photograph the experiment during the execution of the experiment and, finally, prepare a report containing the observations at the macroscopic level and an explanation of what they thought was happening at the microscopic level.

## RESULTS AND DISCUSSION

Several authors agree that live beet cells are excellent models for some simple experiments involving cellular membranes (BEETROOT CELL MEMBRANES – PENNYROYAL RESEARCH, [s.d.]; GALVÃO et al., 2012; GRUNWALD, 1968; SOUZA FERNANDES, 2018; VODOPICH; MOORE, 1989). Studies such as those by Vodopich and Moore (VODOPICH; MOORE, 1989), Gonçalves (GONÇALVES, 2021) and Galvão (GALVÃO et al., 2012) have shown that the damage caused to

beet cell membranes can be visualized by observing the color of the substances after tested.

In our study aimed to verify the students' ability to interrelate the phenomena at the macroscopic and microscopic levels by answering the following question: what do you think will happen to the beet cube and the beet cells after exposure to the tested agents?

Therefore, in addition to observing the color of the substances after the experiment, the students were encouraged to make macroscopic observations about the aspect of the beetroot cube (organism level) before and after the treatments and to make inferences about what happened at the level microscopic (cellular and molecular). This fact differentiates our study from others.

For our study carried out the data analysis from two thematic foci from which four categories emerged that contemplate the chemical representations (JOHNSTONE, 1991, 2000) and the levels of biological organization (ANDERSON et al., 2013) as showing the Table 1. The first focus contemplates what we call the *Micro level*, including the submicroscopic and microscopic categories. And the second focus refers to the *Macro level* and comprises the organism and the chemical characteristics of substances. After reading the answers and reports, we gathered words and concepts that were identical, synonyms or very close and classified them according to the predefined categories (ANDERSON et al., 2013; JOHNSTONE, 1991, 2000). Thus, for each type of treatment, the analyzed categories were the same.

Table 1. Coding tool for students' descriptions, based on Jonstone's (JOHNSTONE, 1991, 2000) definitions for chemistry and Tsui and Treagust (ANDERSON et al., 2013) for biology.

<b>Thematic focuses</b>	<b>Categories</b>	<b>Definition</b>	<b>Exemplar</b>
<i>I- Micro level</i>	<i>Submicroscopic</i>	Entities that is too small to be seen using optical microscopes.	atoms, molecules, ions and chemical structures.
	<i>Microscopic</i>	Structures are only visible under a light microscope or an electron microscope	cell, organelle, membrane



	<i>Organismal</i>	Biological structures are visible to the naked eye	Entire plant or animal, tissues, organs, organisms (beets, or beet cubes)
<i>II- Macro level</i>		Properties are perceptible in chemistry laboratories and in everyday life and are therefore able to be measured.	mass, density, concentration, color, pH, temperature and osmotic pressure
	<i>Chemical</i>		

The general distribution of pre-experiment questionnaire responses and post-experiment report for the Micro thematic focus according to each treatment are available in Table 2 in the supporting information.

Here we highlight some of the students' responses in relation to the tested substances. About the effects of water at room temperature, 5 students answered that the cells will absorb water and lose pigment. Examples: "*It will extract the pigment and the cells will absorb water*" and "*Will extract pigment from the beet*".

Regarding the effects of hot water on pieces of beetroot, 3 students stated that the heat should increase the disorder of the molecules and, consequently, facilitate the extraction of the pigment. However, the students did not specify which molecules would be perturbed. For example: "*Lose pigment, increase volume and become soft and destruction of molecular order*"

About the cold water, the students answered that the cells will absorb water, and one student answered that the molecules will crystallize, as show in the example: "*harden and deform the structure and the molecules will become more crystallized (closer together)*".

Regarding organic solvents, most students were unable to answer what should happen to beet cells at a submicroscopic and microscopic level when adding acetone and alcohol. Three students answered that both solvents will destroy the cells or dehydrate them as shown in the examples: "*It will extract the pigment and will destroy the cells*" and "*will extract the pigments and deform the structure. Will interact with organic*

*molecules*". Many students were unable to say what would happen at the microscopic level with the beet after exposure to the disinfectant.

In the submicroscopic category, 8 students demonstrated knowledge about the effects of sodium hypochlorite at the molecular level. For example: *"It will discolor the beet and will break down the molecule that gives beet color"*. This observation is probably related to the students' daily lives, because hypochlorite is a substance widely used for domestic cleaning and disinfection. However, regarding detergent, which is also a common household substance; our findings show a result that makes us reflect on students' previous conceptions and correlations between levels of representation and organization. Four students answered that nothing would happen at the submicroscopic or microscopic level after exposure to detergent, as the examples show: *"nothing will happen"* and *"nothing happens"*.

The results on the exposure of beets to sodium chloride and sucrose show that most students did not know how to give an opinion on what should happen submicroscopic and microscopically with the cells when in contact with different solutions of sodium chloride and sucrose. One student reported that the cells would lose water in contact with the 1% NaCl solution and one student said that they would lose water when in contact with the saturated NaCl solution. Two students stated that the cells would absorb sucrose and but not extract the pigments, as example: *"it won't extract the pigments and maybe make it more shiny"*

In general, in the pre-test we obtained more descriptions in the microscopic category, that is, responses related to the beet cell than the submicroscopic category. And in the post experiment, few students provided explanations at the Micro level.

The distributions of pre- and post-experiment responses for the macro-level thematic focus are available in table 3 in the supporting information. For this focus, responses in the chemical category prevailed, both in the pre and post experiment. The data indicate that the students focused much more on the color of the samples after

exposure to external agents, than on the appearance at the organism level.

At the macroscopic level, the students' responses about what would happen after exposure to the detergent also called our attention, in which four students replied that nothing would happen.

As for the effects of water at room temperature, at a macroscopic level, 7 students answered that it would extract the pigment, while only two students stated that it would increase the size of the cube. Regarding the hot water in the beet pieces, all students stated that the heat facilitates the extraction of the beet pigment. Regarding the effects of cold water, one student said it would increase the size of the cube and one student said it would deform the cube. For example: "*Visually only increased beet*".

Regarding organic solvents, in the pre-experiment at the macroscopic level, most students stated that acetone and alcohol should extract the pigment from the beet and one student said that it will deform the beet, as show in the example: "*will extract the pigments and deform the structure*". In the post-experiment, the students reported changes in the organism level mainly that the cube of beet withered after exposure to acetone.

From the initial analysis, we can verify that experimental practices that require observation play an important role in science teaching, as shown in the results of tables 2 and 3 (see supporting information) in the data after the experiment. It can be seen that fewer students failed to answer about the damage caused to beets after exposure to external agents, and contrary to the pre-experiment questionnaire, the analysis showed that, in general, students made comparisons between different external agents and did not describe them separately as in the pre-test.

As this experimental class was held in a period of social isolation, the students carried out the experiments according to the availability of materials in their kitchens. The types of external agents and containers used varied among participants. From the analysis of the reports (see

support information), we extracted images and fragments of the texts that illustrate the students' ability to interrelate phenomena at the macro and micro levels. Let's see the following examples:

### **On the effect of water on beet cubes**

Example 1: *"Water is capable of extracting beet pigments through its membrane, however, organic solvents such as alcohol are more efficient".*

Example 2: *"During the experiment it was possible to observe that water has the lowest bleaching power of beet [...] due to its high polarity it does not interfere with the permeability of the membrane. However, when using hot water, the solution remained pink, different from room temperature water and ice water. This is because the molecules of hot water are more agitated."*

Example 3: *"Hot water probably extracted more pigment due to disintegration of membranes due to temperature increase".*

Figure 2: Beetroot samples after 120 min immersed in room temperature (1), hot (2) and cold (3) water.



Source: student reports.

The examples show that some students reported that heat favors pigment extraction when compared to water at room temperature and cold. And, as noted in the opening question, most students didn't know how to answer what happened to beet cells at the microscopic level.

In contrast to our expectations that students should research and report the influence of temperature on the chemical structures of membranes, for example, that heat should increase the fluidity (mobility) of lipids in membranes and cause denaturation of proteins, favoring the extraction of pigments, the students only correlated the

extraction of the beet pigment with the degree of agitation of the water molecules at a higher temperature.

Example 3 brings an explanation that, although still very superficial, demonstrates that after observing the results of the experiment, students developed the ability to make inferences about the observed phenomena and correlate them with the levels of biological and chemical organization.

Regarding water at room temperature or at low temperature, we expected that students would also comment on the damage to the membrane due to excessive swelling of some cells (GALVÃO et al., 2012) which can also cause leakage of pigment from beet cells.

Another important aspect is that, although we encouraged the students to observe the size and appearance of the beet cubes after the experiment, most did not observe this, which makes it difficult to make inferences about the cellular and organismal level.

#### **In relation to organic solvents**

About organic solvents at the macroscopic level, most students agreed that alcohol and acetone, showed high pigment extraction and dehydration of the beet structure. See the examples:

Example 4: *"alcohol and acetone proved to be more efficient in extracting the color, since organic solvents have the ability to damage the membrane and denaturate proteins."*

Example 5: *"The more colored solutions, such as alcohol and acetone, are because they extracted a greater amount of pigment, as they manage to influence the permeability of the membrane".*

Example 6: *"Alcohol and acetone were able to influence more permeability, so they remove a greater amount of pigment when compared to water. It was also observed in the beet cube that came into contact with acetone, a remarkable retraction of its mass".*

Figure 4: images of beet cubes after immersion in acetone and alcohol respectively.



Source: student reports.

Examples 4 and 5 indicate that the students gave a satisfactory explanation of the substances tested and the results obtained, taking into account the interaction between cell membranes and organic solvents. Example 6 and figure 4 show that it was possible to observe the damage caused also at the organism level, as the beetroot cubes reduced considerably in volume.

According to Galvão and Collaborators (GALVÃO et al., 2012), acetone and alcohol are solvents that have a partial hydrophobic character and can solubilize the fatty acid tails of phospholipids and denature the associated proteins. In short, they can alter membrane fluidity by destabilizing the hydrophobic interactions that maintain the basic structure of membranes and also by precipitating cellular proteins (including membrane proteins). Because it has a more hydrophobic character than alcohol, acetone had a greater effect on membranes and proteins, thus increasing the damage observed.

### **Effect of amphipathic and polar substances**

In the report the students described that amphipathic and polar substances extracted the pigment from the beet cube, explaining that the greatest damage was caused by sodium hypochlorite as shown in the examples below.

Example 7: *"In the case of detergent, it interacts well with both the polar part of the membrane and the non-polar part, by increasing the permeability of the membrane, the detergent allows betacyanin to leave more easily".*

Example 8: *"Bleach and detergent are able to interfere with the membranes because they have amphipathic and polar characteristics, in*

*this way the detergent is able to extract the pigment, however it was not possible to have a good visualization, while bleach, in addition to interfering with the membrane, has an oxidative character being capable of degrading the pigment and interfering with the physical characteristics of the beet as seen."*

Example 9: *"the detergent has molecules with a polar, hydrophilic, and a non-polar, hydrophobic part, as well as in the phospholipids that make up the membranes. This makes the detergent molecules interact well with the membrane, significantly increasing its permeability and facilitating the output of betacyanin".*

Basically, the students observed that the hypochlorite weakened the structure of the beet, when they observed that it is decomposing easily in relation to the other cubes tested, a result that is shown in figure 5.

Figure 5: Beet cubes after exposure to sodium hypochlorite.



Source: student reports.

Figure 6: effect of exposure to detergent at a macroscopic level, initial and final moment, respectively.



Source: student reports.

Example 9 shows that the student compared the chemical composition of the detergent with the chemical composition of the

biological membrane and correlated the macroscopic aspects observed with the effects caused at the micro level.

In contrast to what the students answered in the initial question about detergent, after performing the experiment, most students observed that commercial detergents increased membrane permeability (as observed macroscopically) and few cited the amphipathic characteristic of detergents as a basis molecular for that. However, most students were unable to describe what might have occurred on a microscopic level.

### **Sodium chloride and sucrose**

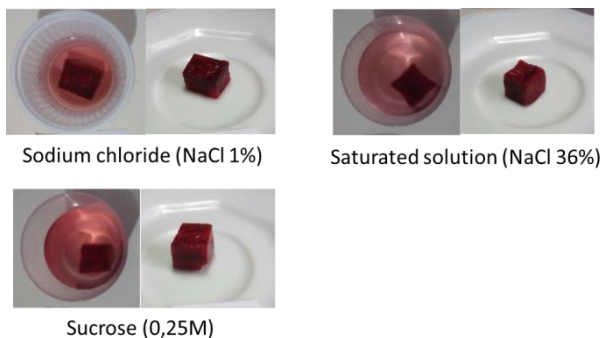
About the sodium chloride and sucrose, after the experiment, the students noticed that the color of the solution visibly did not change significantly. Look at the examples and Figure 7.

Example 10: *"In the case of sucrose and sodium chloride, it can be assumed that, due to the high concentration of salts, the solution has become very concentrated, making it difficult for the pigment to escape"*.

Example 11: *"The physiological solution has a similar concentration to that of the interior of the cell, so there will not be much passage through the membrane and the permeability will not be changed"*.

Example 12: *"The water tends to come out of the beet, since the concentration of salt in the solution is higher, causing the beet to decrease its size"*.

Figure 7: Result of the samples after exposure to sodium chloride (NaCl 1%) and saturated solution (NaCl 36%) and sucrose (0,25M).



Source: student reports.



The results show that although the students gave very superficial explanations about the observed phenomena, the class brought positive results regarding the content covered. We believe that if the students had carried out the measurement of the beetroot cubes (according to supporting information) after contact with the tested substances, the results would have been better.

## **CONCLUSIONS**

We emphasize that this experiment can contribute to the understanding of the complexity of the cell as a functional whole, and the importance of cells for the functions of an organism. This practical class shows that even without “seeing” the plasma membrane, it is possible to extrapolate what happens in each cell to the macroscopic organization of the beet cube, for example, the increase in the size of the beet cube when the cells absorb water, the reduction of the cube when in contact with acetone and alcohol, demonstrating a strong dehydration of the organism being tested, the destruction of the membrane and cell wall after exposure to hypochlorite causing deterioration of the beet cube.

Our findings allow for an affirmative answer to the initial question: "Is it possible to trigger the conceptual meaning of biological / biochemical phenomena that occur in biological membranes from macroscopic observations visualized through experimentation?" Given the nature of the plant used in this experiment, we can demonstrate that although it is not possible to observe the biological membranes, not even under an optical microscope, we can infer that some type of damage occurred in the biological membranes after exposure to different external agents, because the extravasation of this vegetable's pigments occurred, which are in a cell organelle surrounded by a membrane.

We assume that this group of students represents a small portion of undergraduate chemistry students and that more research should be carried out to complement these findings.

We emphasize the importance of the teacher to motivate, arouse students' curiosity (CHANDRASEGARAN; TREAGUST; MOCERINO, 2009), as well as clarifying to students that the phenomena observed in beet pigment extraction are directly related to the effects of chemical and physical agents in the composition of the cell membrane.

The results showed that students do not have the habit of thinking correlating levels of organization, they generally emphasize only one level and therefore, we conclude that more attention should be paid to correlations between different levels of knowledge in order to generate scientific understanding that it is not compartmentalized or fragmented.

## **AUTHOR INFORMATION**

Corresponding Author

\*E-mail: vaynaperson@hotmail.com

Acknowledgments

The authors would like to thank the Coordination of Superior Level Staff Improvement which financed this study and the Federal University of Santa Maria-Brazil.

## **REFERENCES**

ANDERSON, Trevor R.; SCHONBORN, Konrad J.; PLESSIS, Lynn; GUPTHAR, A. S.; HULL, T. L. Multiple Representations in Biological Education. *In*: TREAGUST, David F.; TSUI, Chi-Yan (org.). **Multiple Representations in Biological Education, Series: Models and Modeling in Science Education**. Models and Modeling in Science Education Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. v. 7p. 19–38. DOI: 10.1007/978-94-007-4192-8. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-4192-8>. Acesso em: 26

maio. 2021.

ARAÚJO, Maria Cristina Pansera De; AUTH, Milton Antonio; MALDANER, Otavio Aloisio. Autoria Compartilhada na Elaboração de um Currículo Inovador em Ciências no Ensino Médio. **Revista Contexto & Educação**, [S. l.], v. 22, n. 77, p. 241–262, 2007. DOI: 10.21527/2179-1309.2007.77.241-262. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoeducacao/articloe/view/1092>. Acesso em: 15 set. 2022.

AZEREDO, Henriette M. C. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. **International Journal of Food Science & Technology**, [S. l.], v. 44, n. 12, p. 2365–2376, 2009. DOI: 10.1111/J.1365-2621.2007.01668.X. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>. Acesso em: 3 ago. 2021.

BAADEN, Marc. **Visualizing Biological Membrane Organization and Dynamics** *Journal of Molecular Biology* Academic Press, , 2019. DOI: 10.1016/j.jmb.2019.02.018.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. [s.l.] : Edições 70, 2011.

BARROWS, Howard S. Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. **New Directions for Teaching and Learning**, [S. l.], v. 1996, n. 68, p. 3–12, 1996. DOI: 10.1002/TL.37219966804. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/tl.37219966804>. Acesso em: 28 jul. 2021.

BATTISTI, Isabel Koltermann; NEHRING, Cátia Maria. A Mediação Docente Em Uma Aula De Matemática : Uma Abordagem Histórico-Cultural. **Nuances: estudos sobre a educação**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 65–85, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/Windows-8/Downloads/2818-9766-2-PB.pdf>.

**Beetroot Cell Membranes – Pennyroyal Research**. [s.d.]. Disponível em: <https://pennyroyalresearch.wordpress.com/2016/12/10/beetroot-cell-membranes/>. Acesso em: 25 nov. 2022.

BRASIL. BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR 2018. p. 600.

CARLAN, Francele de Abreu; SEPEL, Lenira Maria Nunes; LORETO, Elgion Lucio Silva. Teaching Cell Biology in Primary Schools. **Education Research International**, [S. l.], v. 2014, p. 1–5, 2014. DOI: 10.1155/2014/272475.

CHANDRASEGARAN, A. L.; TREAGUST, David F.; MOCERINO, Mauro. Emphasizing multiple levels of representation to enhance students' understandings of the changes occurring during chemical reactions. **Journal of Chemical Education**, [S. l.], v. 86, n. 12, p. 1433–1436, 2009. DOI: 10.1021/ED086P1433/SUPPL\_FILE/JCE2009P1433W.ZIP. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed086p1433>. Acesso em: 1 fev. 2023.

DANIELLI, James Frederic. Some properties of lipid films in relation to the structure of the plasma membrane. **Journal of Cellular and Comparative Physiology**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 393–408, 1936. DOI: 10.1002/jcp.1030070307.

DANIELLI, James Frederic; DAVSON, Hugh. A contribution to the theory of permeability of thin films. **Journal of Cellular and Comparative Physiology**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 495–508, 1935. DOI: 10.1002/jcp.1030050409. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jcp.1030050409>. Acesso em: 17 maio. 2021.

DAVIDOWITZ, Bette; CHITTLEBOROUGH, Gail. Linking the Macroscopic and Sub-microscopic Levels: Diagrams. In: **MULTIPLE REPRESENTATIONS IN CHEMICAL EDUCATION: Models and Modeling in Science Education**. 4. ed. [s.l.] : Springer, Dordrecht, 2009. p. 169–191. DOI: 10.1007/978-1-4020-8872-8\_9. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8872-8\\_9](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8872-8_9). Acesso em: 11 jul. 2022.

DEAMER, David W.; KLEINZELLER, Arnost; FAMBROUGH, Douglas M. **Membrane Permeability: 100 Years Since Ernest Overton - Google Livros**. 1999. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=uOxjtTE9koUC&pg=PA1&redir\\_](https://books.google.com.br/books?id=uOxjtTE9koUC&pg=PA1&redir_)

esc=y#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 10 jun. 2021.

FOLMER, V.; BARBOSA, N. V.; SOARES, F. A. A.; ROCHA, J. B. T. Experimental activities based on ill-structured problems improve Brazilian school students' understanding of the nature of scientific knowledge. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 232–254, 2009.

GALVÃO, Thiago Barros; FERREIRA, Diana Aline; FERNANDES DE CARVALHO, Leonardo Emmanuel; CAVALCANTI REZENDE, Natânia Carol; VOIGT, Eduardo Luiz. Protocolo acessível para aula prática sobre fatores físicos e químicos que afetam a integridade das biomembranas. **Revista de Ensino de Bioquímica**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 1, 2012. DOI: 10.16923/reb.v10i1.168.

GARCIA, Carlos Macedo. A formação de professores: novas perspectivas baseadas no pensamento do professor. *In: Os professores e a sua formação*. [s.l: s.n.]. p. 51–76.

GONÇALVES, T. M. Permeabilidade da membrana plasmática celular da beterraba : uma proposta de aula prática no ensino médio. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 1–9, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13479>.

GORTER, E.; GRENDL, F. On bimolecular layers of lipoids on the chromocytes of the blood. **Journal of Experimental Medicine**, [S. l.], v. 41, n. 4, p. 439–444, 1925. DOI: 10.1084/jem.41.4.439. Disponível em: </pmc/articles/PMC2130960/?report=abstract>. Acesso em: 17 maio. 2021.

GRUNWALD, C. Effect of Sterols on the Permeability of Alcohol-Treated Red Beet Tissue. **Plant Physiology**, [S. l.], v. 43, n. 4, p. 484, 1968. DOI: 10.1104/PP.43.4.484. Disponível em: </pmc/articles/PMC1086876/?report=abstract>. Acesso em: 18 nov. 2022.

HOWITT, Susan; ANDERSON, Trevor; COSTA, Manuel; HAMILTON, Susan; WRIGHT, Tony. A Concept Inventory for Molecular Life Sciences : How Will It Help Your Teaching Practice ? **Australian**

**Biochemist**, [S. l.], v. 39, n. 3, p. 1–4, 2008.

JACOBSON, Michael J.; KOZMA, Robert B. Innovations in science and mathematics education : advanced designs for technologies of learning. [S. l.], p. 430, 2000.

JOHANN, Leonie. **Facing educational Challenges in Molecular Life Science – A Thesis to reconstruct Cell Membrane Biology for Upper Secondary Teaching and Learning**. 2022. Nord University, [S. l.], 2022. DOI: 10.13140/RG.2.2.27591.98726.

JOHANN, Leonie; GROSS, Jorge; MESSIG, Denis; RUSK, Fredrik. Content-based and cognitive-linguistic analysis of cell membrane biology: Educational reconstruction of scientific conceptions. **Education Sciences**, [S. l.], v. 10, n. 6, 2020. DOI: 10.3390/EDUCSCI10060151.

JOHNSTONE, Alex H. Why is Chemistry Difficult to Learn? Things are Seldom What They Seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, [S. l.], v. 7, p. 75–83, 1991.

JOHNSTONE, Alex H. TEACHING OF CHEMISTRY - LOGICAL OR PSYCHOLOGICAL? **Chemistry Education Research and Practice**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 9–15, 2000. DOI: 10.1039/A9RP90001B. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2000/rp/a9rp90001b>. Acesso em: 7 jul. 2021.

KOZMA, Robert B.; RUSSEL, Joel. Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, [S. l.], v. 34, n. 9, p. 949–968, 1997.

LANGMUIR, Irving. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. II. Liquids. **Journal of the American Chemical Society**, [S. l.], v. 39, n. 9, p. 1848–1906, 1917. DOI: 10.1021/ja02254a006. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja02254a006>. Acesso em: 17 maio. 2021.

LEONTIEV, A. **O desenvolvimento do psiquismo humano**. Lisboa-Portugal: Horizonte Universitário, 1978.

LEONTIEV, A. **Actividade, conciencia, personalidad**. 2ª ed. Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo e Educación, 1985.

LOMBARD, Jonathan. **Once upon a time the cell membranes: 175 years of cell boundary research***Biology Direct* BioMed Central Ltd., , 2014. DOI: 10.1186/s13062-014-0032-7. Disponível em: <https://biologydirect.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13062-014-0032-7>. Acesso em: 17 maio. 2021.

LOMBARDO, DOMENICO. Transdisciplinary methods in the study of biological membranes: Laboratory learning by doing and implications for research and education. **Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti - Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali**, [S. l.], v. 99, n. S1, p. 32, 2021. DOI: 10.1478/AAPP.99S1A32. Disponível em: <https://cab.unime.it/journals/index.php/AAPP/article/view/AAPP.99S1A32>. Acesso em: 4 out. 2022.

LOPES, Renato Matos; SILVA FILHO, Moacelio Veranio; MARSDEN, Melissa; ALVES, Neila Guimaraes. Aprendizagem baseada em problemas: Uma experiencia no ensino de quimica toxicologica. **Quimica Nova**, [S. l.], v. 34, n. 7, p. 1275–1280, 2011. DOI: 10.1590/S0100-40422011000700029.

MALDANER, Otavio Aloisio. **Formação Inicial e Continuada de Professores de Química: Professores/Pesquisadores**. [s.l.] : Unijuí, 2000.

MARBACH-AD, Gili; STAVY, Ruth. Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. **Journal of Biological Education**, [S. l.], v. 34, n. 4, p. 200–205, 2000. DOI: 10.1080/00219266.2000.9655718. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=rjbe20>. Acesso em: 29 jul. 2021.

MOURITSEN, O. G.; BAGATOLLI, L. A. **Life as a matter of fat: lipids in a Membrane Biophysics perspective**. 2th. ed. [s.l.] : Springer International Publishing, 2016.

NELSON, D. L. ..; COX, M. M.; LEHINGER, A. L. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 7 ed ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.

NICOLSON, Garth. Update of the 1972 Singer-Nicolson Fluid-Mosaic Model of Membrane Structure. **Discoveries**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 3, 2013. DOI: 10.15190/d.2013.3. Disponível em: /pmc/articles/PMC7159824/. Acesso em: 17 maio. 2021.

NÓVOA, António. Os Professores e a sua Formação num Tempo de Metamorfose da Escola. **Educação & Realidade**, [S. l.], v. 44, n. 3, p. 1–15, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-623684910>.

OTTOVA, A.; TIEN, H. T. **The Lipid Bilayer Principle: A Historic Perspective and Some Highlights Advances in Planar Lipid Bilayers and Liposomes** Academic Press, , 2005. DOI: 10.1016/S1554-4516(05)01001-X.

PENNER, David E. Explaining Systems: Investigating Middle School Students' Understanding of Emergent Phenomena. **JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING**, [S. l.], v. 37, n. 8, p. 784–806, 2000.

PERSON, Vanessa Aina. **Necessidades e motivos formativos: análise de um processo de interação entre docentes da área de Ciências da Natureza em formação inicial e continuada**. 2018. UNIJUÍ, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/6140>. Acesso em: 4 ago. 2022.

QIAO, Yu Qi; SHEN, Jun; LIANG, Xiao; DING, Song; CHEN, Fang Yuan; SHAO, Li; ZHENG, Qing; RAN, Zhi Hua. Using cognitive theory to facilitate medical education. **BMC Medical Education**, [S. l.], v. 14, n. 1, 2014. DOI: 10.1186/1472-6920-14-79. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24731433/>. Acesso em: 17 maio. 2021.

RUFINO, Luiz Gustavo Bonatto. Reformas curriculares no campo educativo: Políticas e práticas educacionais cotidianas e limites da perspectiva aplicacionista. **Education Policy Analysis Archives**, [S. l.],



v. 29, n. August-December, p. 135, 2021. DOI: 10.14507/epaa.29.5969. Disponível em: <https://epaa.asu.edu/index.php/epaa/article/view/5969>. Acesso em: 14 set. 2022.

SARITAŞ, D.; ÖZCAN, H.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Observation and Inference in Chemistry Teaching: a Model-Based Approach to the Integration of the Macro and Submicro Levels. **Science & Education**, [S. l.], v. 30, p. 1289–1314, 2021.

SCHÖNBORN, Konrad J.; ANDERSON, Trevor R. The Importance of Visual Literacy in the Education of Biochemists\*. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 94–102, 2006. a. Disponível em: [www.danforthcenter.org/smith/MolView/](http://www.danforthcenter.org/smith/MolView/). Acesso em: 15 jun. 2021.

SCHÖNBORN, Konrad J.; ANDERSON, Trevor R. **The importance of visual literacy in the education of biochemists** **Biochemistry and Molecular Biology Education**, 2006. b. DOI: 10.1002/bmb.2006.49403402094.

SINGER, S. J.; NICOLSON, Garth L. The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. **Science**, [S. l.], v. 175, n. 4023, p. 720–731, 1972. DOI: 10.1126/science.175.4023.720.

SOUZA FERNANDES, Cláudio Henrique. **Biomembranas e o ensino por investigação no curso de ciências biológicas : uma análise sob a óptica do engajamento disciplinar produtivo**. 2018. universidade federal de Ouro Preto, [S. l.], 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/10737>. Acesso em: 25 nov. 2022.

STRØMME, Torunn Aa; MORK, Sonja M. Students' Conceptual Sense-making of Animations and Static Visualizations of Protein Synthesis: a Sociocultural Hypothesis Explaining why Animations May Be Beneficial for Student Learning. **Research in Science Education**, [S. l.], p. 1–26, 2020. DOI: 10.1007/s11165-020-09920-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09920-2>. Acesso em: 1 jul. 2021.

VIGOTSKI, L. S. **A formação social da mente**. 7ª edição ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VODOPICH, Darrell S.; MOORE, Randy. Demonstrating the Effects of Stress on Cellular Membranes. **The American Biology Teacher**, [S. l.], v. 51, n. 1, p. 40–42, 1989. DOI: 10.2307/4448837. Disponível em: [/abt/article/51/1/40/3033/Demonstrating-the-Effects-of-Stress-on-Cellular](#). Acesso em: 30 set. 2022.

YEAGLE, P. L. **The Membrane of Cell**. [s.l.] : Elsevier, 2016.

Support information

**Experimental protocol experimental based on Galvão et al (2012)\***

Experimental protocol to evaluate the action of physical and chemical factors on the permeability of biological membranes. In addition to observing the color of the tested substances, we propose to investigate the damage caused at the level of the organism by measuring the size of the beetroot cube before and after the experiment.

To carry out this experimental activity, the following materials were needed:

1 beet;

Ruler;

Knife or stylus;

Transparent containers;

Water,

Hot water;

Cold water;

Disinfectant;

Detergent;

Acetone;

Alcohol;

Sodium hypochlorite (bleach)

NaCl solution (near to the physiological osmolarity - 1g / 100ml),

NaCl saturated (36g / 100ml water)

Sucrose (near to the physiological osmolarity- 85.5g / 100ml)

\*Galvão, T., Nôga Morais Ferreira, D., Fernandes de Carvalho, L., Cavalcanti Rezende, N., & Voigt, E. (2012). Protocolo acessível para aula prática sobre fatores físicos e químicos que afetam a integridade das biomembranas. *Revista de Ensino de Bioquímica*, 10(1), 1-9.

doi:<https://doi.org/10.16923/reb.v10i1.168>

**Detailed description of the experimental protocol steps:**

The beet should be cut into small cubes of 1 cm.

After cut the beets, remove the excess reddish pigment by washing them under running water. Dry the cubes using a dish towel or paper towel and set aside.

Observe the aspect of the beet cube, measure the size and take a photo.

Place a cube of beetroot in each container and add the agents to be tested.

Leave the cubes immersed for 120 minutes.

Observe the color and size of the beet cubes.

Photograph and compare with the cubes before treatment.

Observe the color of the reagents after contact with the beet.

Write a report containing observations and inferences about what happened during the experiment.

**Table 1. Pre-experiment questionnaire**

<b>Treatments</b>	<b>Student 1</b>	<b>Student 2</b>	<b>Student 3</b>	<b>Student 4</b>	<b>Student 5</b>	<b>Student 6</b>	<b>Student 7</b>	<b>Student 8</b>	<b>Student 9</b>
<b>Water</b>	It will extract the pigment and the cells will absorb water	loses color	Visually only increased beet and water absorption	Will extract pigment from the beet	Swell and harden and water will seep inside	The solution will change color and the pigment can be water soluble	the pigment will come out of the beet and go into the solution, leaving the beet with a fainter, pink color and the solution reddish	dark pink	lose pigment
<b>Hot water</b>	It will extract more pigment compared to water and cold water and the cells will absorb water	Loses more color and solubilizes	Water absorption and pigment extraction	will extract the pigment quickly	Soften and extract part of the pigment	the increase in temperature helps in the diffusion process where the pigment is more easily solubilized in water	the pigment will come out of the beet and go into the solution, leaving the beet with a fainter, pink color and the solution reddish	Pink darker than the 1st	Lose pigment, increase volume and become soft and destruction of molecular order
<b>Cold water</b>	It will extract little pigment and the cells will absorb water	loses color	Visually just the beet rise	It will take a little longer than hot, but it does extract	harden and deform the structure and the molecules will become more crystallized (closer together)	did not answer	the pigment will come out of the beet and go into the solution, leaving the beet with a fainter, pink color and the solution reddish	dark pink	Lose pigment and decrease volume
<b>Acetone</b>	It will extract the pigment and will destroy the cells	loses color	Obtaining a pink color and Dehydrating and extracting the pigment	Acts like alcohol	will extract the pigments and deform the structure. Will interact with organic molecules	Same thing for the previous ones	will discolor the beet, but the solution will show another color, as the agents will react with the pigment	Purple	lose pigment Destruction of molecular order
<b>Alcohol</b>	It will extract the pigment more than hot water will destroy the cells	loses color	The solution with the beet will get a pink color, the higher the percentage of alcohol, the pinker the solution	Can efficiently extract the pigment	---	will change color	will modify the pH, I believe this will influence the color of the solution due to a reaction with the pigment. Then the solution will show a weaker or stronger red tint.	----	lose pigment Destruction of molecular order

			will be. Dehydration and pigment extraction						
<b>Disinfectant</b>	Will extract the pigment will destroy the cells	loses color	The disinfectant, as it contains alcohol, will extract the pigment from the beet, causing a pink color to be observed.	Dehydration and pigment extraction	nothing happens	will extract the pigments and deform the structure	the molecules will interact with the disinfectant	I believe that with time it will also change color	The pigment dissolves in the disinfectant
<b>Sodium hypochlorite</b>	It will discolor the beet and will break down the molecule that gives beet color	loses color oxidizes	Obtaining the salmon solution, since bleach is basic and beet is a pH indicator	pigment extraction	Also acts quickly will extract the pigments and due to oxidation we will observe different colors in the solution	will oxidize oxidizable molecules	It will change from the original beet color to a light color.	Bleach will oxidize the pigment making it lighter	lose pigment Destruction of molecular order
<b>Detergent</b>	---	Anything	nothing happens	Nothing	will extract the pigments and deform the shell	----	nothing will happen	lose pigment	Destruction of molecular order
<b>NaCl (physiological solution)</b>	Nothing will happen	loses color	Dehydration	Extracts the pigment but it takes time	will extract the pigments and deform the structure	will change color	the pigment will come out of the beet and go into the solution	dark pink	lose pigment
<b>NaCl (saturated solution)</b>	The beet will wilt	loses color	---	extracts the pigment	will extract more pigments and deform the structure	---	---	pink	lose pigment Destruction of molecular order
<b>Sucrose (0,25 Molar)</b>	Beetroot will absorb the sucrose	loses color	sugar absorption	extracts the pigment	it won't extract the pigments and maybe make it more shiny	will change color	the pigment will come out of the beet and go into the solution, leaving the beet with a fainter, pink color and the solution reddish	pink	lose pigment Destruction of molecular order

Table 2. Distribution of pre and post experiment responses for the *Micro* thematic focus according to each treatment

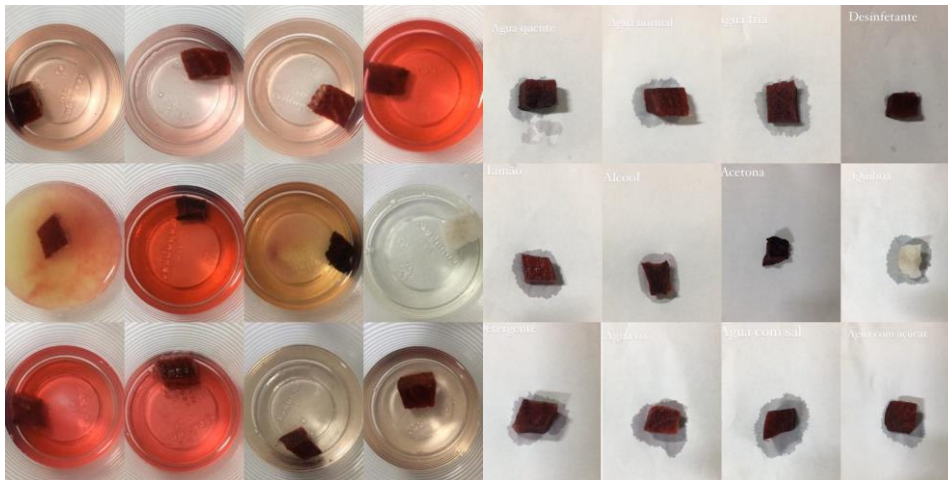
Treatments	Categories							
	Submicroscopic		Microscopic		Nothing		Didn't answer	
	Pre (n=9)	Post (n=9)	Pre (n=9)	Post (n=9)	Pre (n=9)	Post (n=9)	Pre (n=9)	Post (n=9)
<b>Water</b>	-	-	5	1	-	-	4	8
<b>Hot water</b>	3	2	5	1	-	-	1	6
<b>Cold water</b>	2	-	2	-	-	-	5	5
<b>Acetone</b>	-	1	3	1	-	-	6	7
<b>Alcohol</b>	-	1	3	1	-	-	6	7
<b>Disinfectant</b>	-	1	3	1	-	-	6	7
<b>Sodium hypochlorite</b>	8	2	-	1	-	-	1	6
<b>Detergent</b>	-	3	-	1	4	-	5	5
<b>NaCl (physiological solution)</b>	-	-	1	-	1	-	7	8
<b>NaCl (saturated solution)</b>	1	-	1	-	-	-	7	8
<b>Sucrose (0,25 Molar)</b>	-	-	2	-	-	-	7	9

Table 3. Distribution of pre and post experiment responses for the *Macro* thematic focus according to each treatment

Treatments	Categories							
	Organismal		Chemical		Nothing*		Didn't answer	
	Pre (n=9)	Post (n=9)	Pre (n=9)	Post (n=9)	Pre (n=9)	Post (n=9)	Pre (n=9)	Post (n=9)
<b>Water</b>	2	3	7	5	-	-	-	1
<b>Hot water</b>	-	2	9	6	-	-	-	1
<b>Cold water</b>	2	2	6	3	-	-	1	4
<b>Acetone</b>	1	4	8	4	-	-	-	1
<b>Alcohol</b>	-	2	7	4	-	-	2	3
<b>Disinfectant</b>	-	2	8	3	1	-	-	4
<b>Sodium hypochlorite</b>	7	5	1	4	-	-	1	-
<b>Detergent</b>	1	4	2	5	4	-	2	-
<b>NaCl (physiological solution)</b>	-	2	8	3	1	-	-	4
<b>NaCl (saturated solution)</b>	1	2	5	5	-	-	3	2
<b>Sucrose (0,25 Molar)</b>	-	2	8	4	1	-	-	3

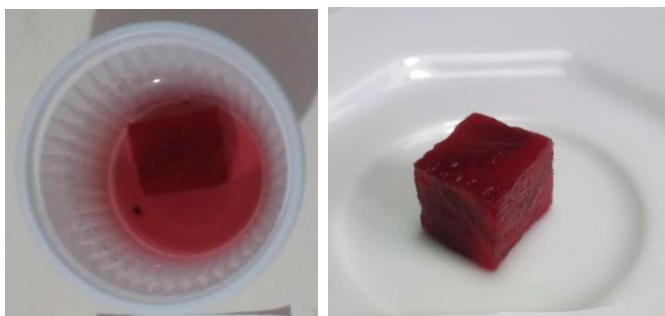
**Example of images from reports of students' practical classes**

*Example 1*



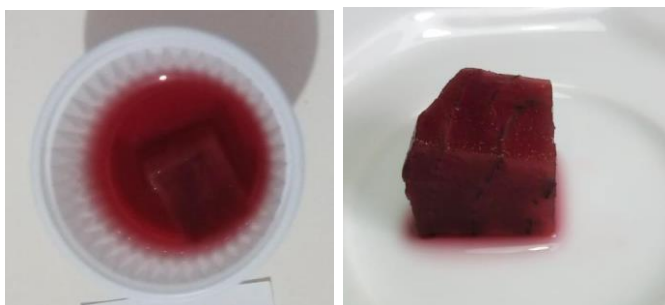
*Example 2*

**Room temperature water**



Water at room temperature extracted little pigment and did not change the beetroot cube.

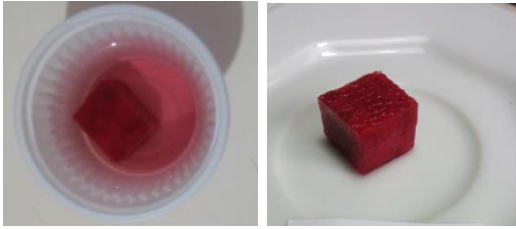
**Hot water (80°C)**



Hot water extracted more pigment than room temperature water and the beetroot cube has some less colored parts.

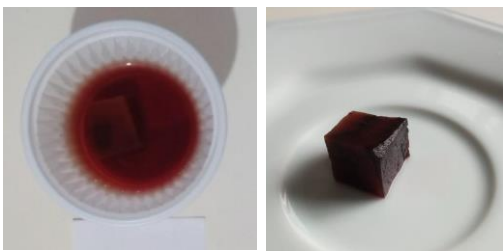


### **Cold water**



Cold water extracted less pigment than water at room temperature and did not change the beetroot cube.

### **Disinfectant**



The disinfectant extracted a lot of pigment from the beet and turned the beet cube dark.

### **Alcohol**



Alcohol extracted a lot of pigment, shriveled the beet cube and turned it black.

### **Acetone**



Acetone extracted more pigment than alcohol, shriveled the beet cube more and turned it black.

### **Bleach**



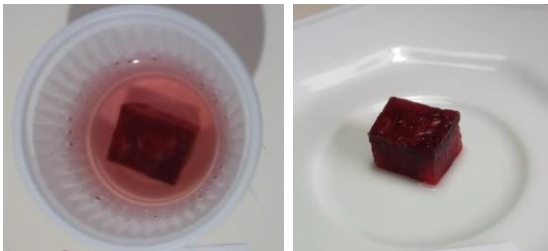
Bleach did not extract the pigment, it reacted in some way that inactivated it. It caused such a change that the beet crumbled.

### **Detergent**



The detergent extracted the pigment a lot and did not change the beetroot cube.

### **NaCl (1%)**



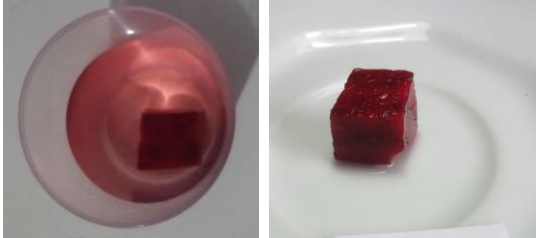
The serum did not extract pigment and did not change the beetroot cube.

### **NaCl (36%)**



The saturated NaCl solution extracted little pigment and shriveled the beetroot cube.

### Sucrose 0.25M



The 0.25 M sucrose solution extracted little pigment and did not cause alteration in the beetroot cube.

### Example 3

Image 1: Measurement of the beetroot cubes before the experiment.

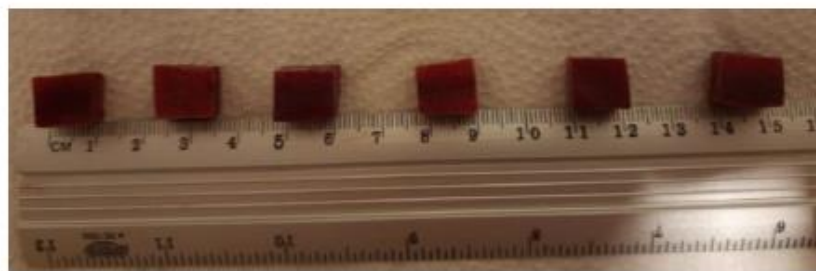


Imagem 1: Medida dos cubos de beterraba.



Imagem 9: Comparativo da coloração dos cubos.

Cube 1: Water

Cube 2: Ice water

Cube 3: Vinegar

Cube 4: Detergent

Cube 5: Cachaça

Cube 6: Hot water

**Measurement of beetroot cubes after contact with the tested substances.**

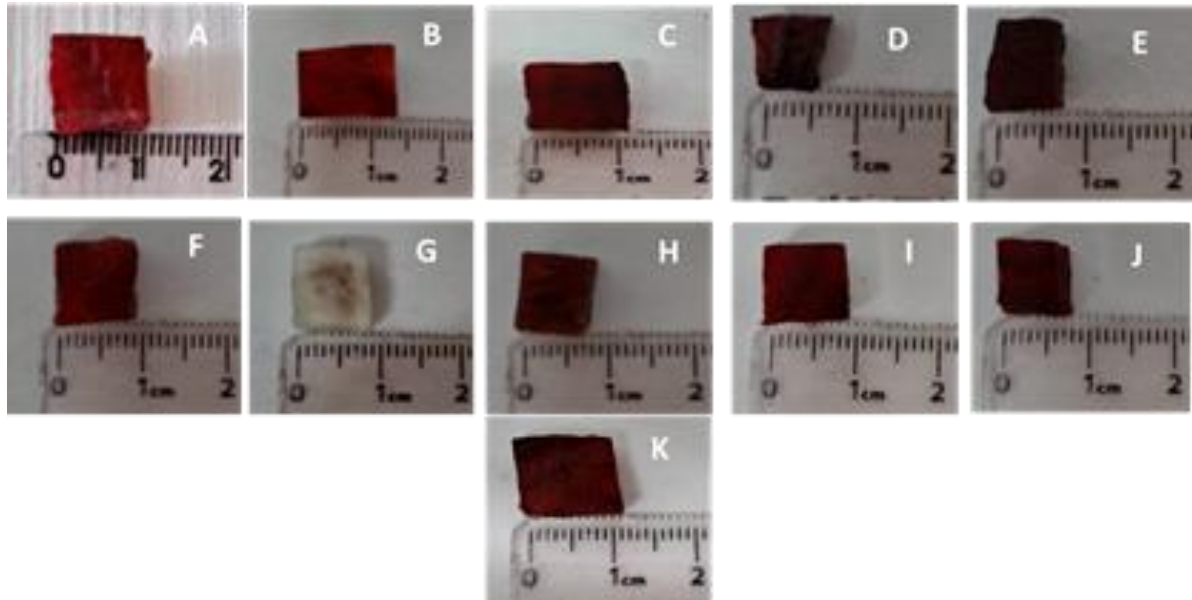


Figure 4: Observation of beetroot cubes after treatment: a) fresh beetroot (control); b) room temperature water; c) hot water; d) acetone; e) alcohol; f) disinfectant; g) sodium hypochlorite; h) detergent; i) NaCl (physiological solution); j) NaCl (saturated solution); K) sucrose.

Source: the authors.

## CONCLUSÃO

Refletindo sobre minha principal inquietação apresentada no início deste texto, em realizar uma ligação entre a disciplina “mãe” e os domínios educacionais, esta tese aventurou-se por um caminho difícil, mas não impossível de concretizar.

Embora haja a intenção de interrelacionar as metodologias didáticas com eficácia do aprendizado ainda não conseguiu-se aferir se houve um aprendizado real de médio e longo prazo com as metodologias utilizadas nos artigos citados no primeiro estudo. Sugerimos que a forma de avaliação decorrente destes instrumentos seja mais eficiente, que a motivação seja pela necessidade de aprender, e sim, que esteja relacionada com a interação social, a aprendizagem ativa e o desempenho acadêmico.

Sobre o segundo estudo, reconhecemos que as concepções e desenhos apresentados partem de um grupo restrito de alunos, não cabendo generalizações. Porém, levando em consideração todos os aspectos apontados ao longo do texto, concluímos que basicamente o ensino de membranas biológicas tem o livro didático como fonte primária de conhecimento e nem pensamos nos assuntos que estamos apresentando aos alunos. Assim, tanto as concepções descritas pelos alunos quanto as imagens desenhadas mostraram que se originaram de abordagens clássicas do ensino-aprendizagem mecânica, encontradas preponderantemente nas escolas básicas e universidades. Em geral, podemos interpretar isso como uma indicação de que professores e alunos não têm o hábito de pensar de forma mais abstrata sobre fenômenos ou estruturas atômicas ou moleculares (por exemplo, as membranas biológicas).

O terceiro estudo mostrou a realidade que foi enfrentada neste período pandêmico quando não pudemos frequentar universidades e escolas, substituindo-se experimentos e equipamentos sofisticados por materiais alternativos. Com base nos resultados positivos da experiência realizada com a beterraba, propomos a implementação desta aula também para o ensino médio com o objetivo de instigar e motivar os alunos a aprenderem conceitos abstratos por meio da experimentação. Destacamos que esta aula permitiu aos alunos desenvolver habilidades de observação e formulação de hipóteses e que o processo investigativo desenvolvido pelo aluno pode ser uma forma de avaliação da aprendizagem.

Ressaltamos que este experimento pode contribuir para o entendimento da complexidade da célula como um todo funcional, e da importância das células para as funções de um organismo. A aula prática que foi realizada mostrou que mesmo sem “ver” a membrana plasmática, é possível extrapolar o que acontece em cada célula para a organização macroscópica do cubo de beterraba, por exemplo, o aumento do tamanho do cubo de beterraba quando as células absorvem água, a redução do cubo quando em contato com acetona e álcool, demonstrando uma forte desidratação do organismo testado, a destruição da membrana e da parede celular após exposição ao hipoclorito causando a deterioração do cubo de beterraba.

Nossos achados permitem uma resposta afirmativa à pergunta inicial: "É possível acionar o significado conceitual de fenômenos biológicos/bioquímicos que ocorrem em membranas biológicas a partir de observações macroscópicas visualizadas através da experimentação?" Dada a natureza da planta utilizada na aula experimental, podemos demonstrar que embora não seja possível observar as membranas biológicas, nem mesmo ao microscópio óptico, podemos inferir que algum tipo de dano ocorreu nas membranas biológicas após a exposição a diferentes agentes externos, pois ocorreu o extravasamento dos pigmentos desse vegetal, que estão em uma organela celular envolta por uma membrana.

Assumimos que esse grupo de alunos representa uma pequena parcela dos alunos de graduação em química e que mais pesquisas devem ser realizadas para complementar esses achados. Ressaltamos a importância do professor motivar, despertar a curiosidade dos alunos, bem como esclarecer aos alunos que os fenômenos observados na extração do pigmento da beterraba estão diretamente relacionados aos efeitos de agentes químicos e físicos na composição da membrana celular. O caminho que é defendido consiste no ensino através da experimentação e do uso de modelos que estabelece relações com o cotidiano do estudante e que faça sentido.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Trevor R.; SCHONBORN, Konrad J.; PLESSIS, Lynn; GUPTHAR, A. S.; HULL, T. L. Multiple Representations in Biological Education. *In: TREAGUST, David F.; TSUI, Chi-Yan (org.). **Multiple Representations in Biological Education, Series: Models and Modeling in Science Education***. Models and Modeling in Science Education Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. v. 7p. 19–38. DOI: 10.1007/978-94-007-4192-8. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-4192-8>. Acesso em: 26 maio. 2021.
- ARAÚJO, Maria Cristina Pansera De; AUTH, Miltom Antonio; MALDANER, Otavio Aloisio. Autoria Compartilhada na Elaboração de um Currículo Inovador em Ciências no Ensino Médio. **Revista Contexto & Educação**, [S. l.], v. 22, n. 77, p. 241–262, 2007. DOI: 10.21527/2179-1309.2007.77.241-262. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoeducacao/article/view/1092>. Acesso em: 15 set. 2022.
- AZEREDO, Henriette M. C. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. **International Journal of Food Science & Technology**, [S. l.], v. 44, n. 12, p. 2365–2376, 2009. DOI: 10.1111/J.1365-2621.2007.01668.X. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>. Acesso em: 3 ago. 2021.
- BAADEN, Marc. **Visualizing Biological Membrane Organization and Dynamics** *Journal of Molecular Biology* Academic Press, , 2019. DOI: 10.1016/j.jmb.2019.02.018.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. [s.l.] : Edições 70, 2011.
- BARROWS, Howard S. Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. **New Directions for Teaching and Learning**, [S. l.], v. 1996, n. 68, p. 3–12, 1996. DOI: 10.1002/TL.37219966804. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/tl.37219966804>. Acesso em: 28 jul. 2021.
- BATTISTI, Isabel Koltermann; NEHRING, Cátia Maria. A Mediação Docente Em Uma Aula De Matemática : Uma Abordagem Histórico-Cultural. **Nuances: estudos sobre a educação**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 65–85, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/Windows-8/Downloads/2818-9766-2-PB.pdf>.
- Beetroot Cell Membranes – Pennyroyal Research**. [s.d.]. Disponível em: <https://pennyroyalresearch.wordpress.com/2016/12/10/beetroot-cell-membranes/>. Acesso em: 25 nov. 2022.
- BRASIL. BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR 2018. p. 600.
- CARLAN, Francele de Abreu; SEPEL, Lenira Maria Nunes; LORETO, Elgion Lucio Silva. Teaching Cell Biology in Primary Schools. **Education Research International**, [S. l.], v. 2014, p. 1–5, 2014. DOI: 10.1155/2014/272475.
- CHANDRASEGARAN, A. L.; TREAGUST, David F.; MOCERINO, Mauro.

Emphasizing multiple levels of representation to enhance students' understandings of the changes occurring during chemical reactions. **Journal of Chemical Education**, [S. l.], v. 86, n. 12, p. 1433–1436, 2009. DOI: 10.1021/ED086P1433/SUPPL\_FILE/JCE2009P1433W.ZIP. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed086p1433>. Acesso em: 1 fev. 2023.

DANIELLI, James Frederic. Some properties of lipid films in relation to the structure of the plasma membrane. **Journal of Cellular and Comparative Physiology**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 393–408, 1936. DOI: 10.1002/jcp.1030070307.

DANIELLI, James Frederic; DAVSON, Hugh. A contribution to the theory of permeability of thin films. **Journal of Cellular and Comparative Physiology**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 495–508, 1935. DOI: 10.1002/jcp.1030050409. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jcp.1030050409>. Acesso em: 17 maio. 2021.

DAVIDOWITZ, Bette; CHITTLEBOROUGH, Gail. Linking the Macroscopic and Sub-microscopic Levels: Diagrams. *In*: **MULTIPLE REPRESENTATIONS IN CHEMICAL EDUCATION: Models and Modeling in Science Education**. 4. ed. [s.l.] : Springer, Dordrecht, 2009. p. 169–191. DOI: 10.1007/978-1-4020-8872-8\_9. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8872-8\\_9](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8872-8_9). Acesso em: 11 jul. 2022.

DEAMER, David W.; KLEINZELLER, Arnost; FAMBROUGH, Douglas M. **Membrane Permeability: 100 Years Since Ernest Overton - Google Livros**. 1999. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=uOxjtTE9koUC&pg=PA1&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=uOxjtTE9koUC&pg=PA1&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 10 jun. 2021.

FOLMER, V.; BARBOSA, N. V.; SOARES, F. A. A.; ROCHA, J. B. T. Experimental activities based on ill-structured problems improve Brazilian school students' understanding of the nature of scientific knowledge. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 232–254, 2009.

GALVÃO, Thiago Barros; FERREIRA, Diana Aline; FERNANDES DE CARVALHO, Leonardo Emmanuel; CAVALCANTI REZENDE, Natânia Carol; VOIGT, Eduardo Luiz. Protocolo acessível para aula prática sobre fatores físicos e químicos que afetam a integridade das biomembranas. **Revista de Ensino de Bioquímica**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 1, 2012. DOI: 10.16923/reb.v10i1.168.

GARCIA, Carlos Macedo. A formação de professores: novas perspectivas baseadas no pensamento do professor. *In*: **Os professores e a sua formação**. [s.l.: s.n.]. p. 51–76.

GONÇALVES, T. M. Permeabilidade da membrana plasmática celular da beterraba : uma proposta de aula prática no ensino médio. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 1–9, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13479>.

GORTER, E.; GREDEL, F. On bimolecular layers of lipoids on the chromocytes of the blood. **Journal of Experimental Medicine**, [S. l.], v. 41, n. 4, p. 439–444, 1925. DOI: 10.1084/jem.41.4.439. Disponível em: </pmc/articles/PMC2130960/?report=abstract>. Acesso em: 17 maio. 2021.

GRUNWALD, C. Effect of Sterols on the Permeability of Alcohol-Treated Red Beet



Tissue. **Plant Physiology**, [S. l.], v. 43, n. 4, p. 484, 1968. DOI: 10.1104/PP.43.4.484. Disponível em: /pmc/articles/PMC1086876/?report=abstract. Acesso em: 18 nov. 2022.

HOWITT, Susan; ANDERSON, Trevor; COSTA, Manuel; HAMILTON, Susan; WRIGHT, Tony. A Concept Inventory for Molecular Life Sciences : How Will It Help Your Teaching Practice ? **Australian Biochemist**, [S. l.], v. 39, n. 3, p. 1–4, 2008.

JACOBSON, Michael J.; KOZMA, Robert B. Innovations in science and mathematics education : advanced designs for technologies of learning. [S. l.], p. 430, 2000.

JOHANN, Leonie. **Facing educational Challenges in Molecular Life Science – A Thesis to reconstruct Cell Membrane Biology for Upper Secondary Teaching and Learning**. 2022. Nord University, [S. l.], 2022. DOI: 10.13140/RG.2.2.27591.98726.

JOHANN, Leonie; GROSS, Jorge; MESSIG, Denis; RUSK, Fredrik. Content-based and cognitive-linguistic analysis of cell membrane biology: Educational reconstruction of scientific conceptions. **Education Sciences**, [S. l.], v. 10, n. 6, 2020. DOI: 10.3390/EDUCSCI10060151.

JOHNSTONE, Alex H. Why is Chemistry Difficult to Learn? Things are Seldom What They Seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, [S. l.], v. 7, p. 75–83, 1991.

JOHNSTONE, Alex H. TEACHING OF CHEMISTRY - LOGICAL OR PSYCHOLOGICAL? **Chemistry Education Research and Practice**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 9–15, 2000. DOI: 10.1039/A9RP90001B. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2000/rp/a9rp90001b>. Acesso em: 7 jul. 2021.

KOZMA, Robert B.; RUSSEL, Joel. Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, [S. l.], v. 34, n. 9, p. 949–968, 1997.

LANGMUIR, Irving. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. II. Liquids. **Journal of the American Chemical Society**, [S. l.], v. 39, n. 9, p. 1848–1906, 1917. DOI: 10.1021/ja02254a006. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja02254a006>. Acesso em: 17 maio. 2021.

LEONTIEV, A. **O desenvolvimento do psiquismo humano**. Lisboa- Portugal: Horizonte Universitário, 1978.

LEONTIEV, A. **Actividade, conciencia, personalidad**. 2<sup>a</sup> ed. Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo e Educación, 1985.

LOMBARD, Jonathan. **Once upon a time the cell membranes: 175 years of cell boundary research** **Biology Direct** BioMed Central Ltd., , 2014. DOI: 10.1186/s13062-014-0032-7. Disponível em: <https://biologydirect.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13062-014-0032-7>. Acesso em: 17 maio. 2021.

LOMBARDO, DOMENICO. Transdisciplinary methods in the study of biological membranes: Laboratory learning by doing and implications for research and education. **Atti della Accademia Peloritana dei Pericolanti - Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali**, [S. l.], v. 99, n. S1, p. 32, 2021. DOI: 10.1478/AAPP.99S1A32.

Disponível em:

<https://cab.unime.it/journals/index.php/AAPP/article/view/AAPP.99S1A32>. Acesso em: 4 out. 2022.

LOPES, Renato Matos; SILVA FILHO, Moacelio Veranio; MARSDEN, Melissa; ALVES, Neila Guimaraes. Aprendizagem baseada em problemas: Uma experiência no ensino de química toxicológica. **Química Nova**, [S. l.], v. 34, n. 7, p. 1275–1280, 2011. DOI: 10.1590/S0100-40422011000700029.

MALDANER, Otavio Aloisio. **Formação Inicial e Continuada de Professores de Química: Professores/Pesquisadores**. [s.l.] : Unijuí, 2000.

MARBACH-AD, Gili; STAVY, Ruth. Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. **Journal of Biological Education**, [S. l.], v. 34, n. 4, p. 200–205, 2000. DOI: 10.1080/00219266.2000.9655718. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=rjbe20>. Acesso em: 29 jul. 2021.

MOURITSEN, O. G.; BAGATOLLI, L. A. **Life as a matter of fat: lipids in a Membrane Biophysics perspective**. 2th. ed. [s.l.] : Springer International Publishing, 2016.

NELSON, D. L. ...; COX, M. M.; LEHINGER, A. L. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 7 ed ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.

NICOLSON, Garth. Update of the 1972 Singer-Nicolson Fluid-Mosaic Model of Membrane Structure. **Discoveries**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 3, 2013. DOI: 10.15190/d.2013.3. Disponível em: </pmc/articles/PMC7159824/>. Acesso em: 17 maio. 2021.

NÓVOA, António. Os Professores e a sua Formação num Tempo de Metamorfose da Escola. **Educação & Realidade**, [S. l.], v. 44, n. 3, p. 1–15, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-623684910>.

OTTOVA, A.; TIEN, H. T. **The Lipid Bilayer Principle: A Historic Perspective and Some Highlights Advances in Planar Lipid Bilayers and Liposomes** Academic Press, , 2005. DOI: 10.1016/S1554-4516(05)01001-X.

PENNER, David E. Explaining Systems: Investigating Middle School Students' Understanding of Emergent Phenomena. **JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING**, [S. l.], v. 37, n. 8, p. 784–806, 2000.

PERSON, Vanessa Aina. **Necessidades e motivos formativos: análise de um processo de interação entre docentes da área de Ciências da Natureza em formação inicial e continuada**. 2018. UNIJUÍ, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/6140>. Acesso em: 4 ago. 2022.

QIAO, Yu Qi; SHEN, Jun; LIANG, Xiao; DING, Song; CHEN, Fang Yuan; SHAO, Li; ZHENG, Qing; RAN, Zhi Hua. Using cognitive theory to facilitate medical education. **BMC Medical Education**, [S. l.], v. 14, n. 1, 2014. DOI: 10.1186/1472-6920-14-79. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24731433/>. Acesso em: 17 maio. 2021.

RUFINO, Luiz Gustavo Bonatto. Reformas curriculares no campo educativo: Políticas e

práticas educacionais cotidianas e limites da perspectiva aplicacionista. **Education Policy Analysis Archives**, [S. l.], v. 29, n. August-December, p. 135, 2021. DOI: 10.14507/epaa.29.5969. Disponível em: <https://epaa.asu.edu/index.php/epaa/article/view/5969>. Acesso em: 14 set. 2022.

SARITAŞ, D.; ÖZCAN, H.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Observation and Inference in Chemistry Teaching: a Model-Based Approach to the Integration of the Macro and Submicro Levels. **Science & Education**, [S. l.], v. 30, p. 1289–1314, 2021.

SCHÖNBORN, Konrad J.; ANDERSON, Trevor R. The Importance of Visual Literacy in the Education of Biochemists\*. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 94–102, 2006. a. Disponível em: [www.danforthcenter.org/smith/MolView/](http://www.danforthcenter.org/smith/MolView/). Acesso em: 15 jun. 2021.

SCHÖNBORN, Konrad J.; ANDERSON, Trevor R. **The importance of visual literacy in the education of biochemists** **Biochemistry and Molecular Biology Education**, 2006. b. DOI: 10.1002/bmb.2006.49403402094.

SINGER, S. J.; NICOLSON, Garth L. The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. **Science**, [S. l.], v. 175, n. 4023, p. 720–731, 1972. DOI: 10.1126/science.175.4023.720.

SOUZA FERNANDES, Cláudio Henrique. **Biomembranas e o ensino por investigação no curso de ciências biológicas : uma análise sob a óptica do engajamento disciplinar produtivo**. 2018. universidade federal de Ouro Preto, [S. l.], 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/10737>. Acesso em: 25 nov. 2022.

STRØMME, Torunn Aa; MORK, Sonja M. Students' Conceptual Sense-making of Animations and Static Visualizations of Protein Synthesis: a Sociocultural Hypothesis Explaining why Animations May Be Beneficial for Student Learning. **Research in Science Education**, [S. l.], p. 1–26, 2020. DOI: 10.1007/s11165-020-09920-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09920-2>. Acesso em: 1 jul. 2021.

VIGOTSKI, L. S. **A formação social da mente**. 7ª edição ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VODOPICH, Darrell S.; MOORE, Randy. Demonstrating the Effects of Stress on Cellular Membranes. **The American Biology Teacher**, [S. l.], v. 51, n. 1, p. 40–42, 1989. DOI: 10.2307/4448837. Disponível em: [/abt/article/51/1/40/3033/Demonstrating-the-Effects-of-Stress-on-Cellular](http://abt/article/51/1/40/3033/Demonstrating-the-Effects-of-Stress-on-Cellular). Acesso em: 30 set. 2022.

YEAGLE, P. L. **The Membrane of Cell**. [s.l.] : Elsevier, 2016.