

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ
CAMPUS DE PARANAVAÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
FORMAÇÃO DOCENTE INTERDISCIPLINAR - PPIFOR**

VIVIANE FERNANDES MENDONÇA

**CONTRIBUIÇÕES DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA A APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA DO DOGMA CENTRAL DA BIOLOGIA MOLECULAR**

VIVIANE FERNANDES MENDONÇA

**PARANAVAÍ
2023**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ
CAMPUS DE PARANAVAI
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
FORMAÇÃO DOCENTE INTERDISCIPLINAR – PPIFOR**

**CONTRIBUIÇÕES DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA A APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA DO DOGMA CENTRAL DA BIOLOGIA MOLECULAR**

VIVIANE FERNANDES MENDONÇA

**PARANAVAI
2023**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ
CAMPUS DE PARANAVAI
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
FORMAÇÃO DOCENTE INTERDISCIPLINAR - PPIFOR**

**CONTRIBUIÇÕES DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA A APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA DO DOGMA CENTRAL DA BIOLOGIA MOLECULAR**

Dissertação apresentada por VIVIANE FERNANDES MENDONÇA, ao Programa de Pós-Graduação em Formação Docente Interdisciplinar da Universidade Estadual do Paraná – Campus de Paranavaí, como um dos requisitos para a obtenção do título de Mestra em Ensino.

Área de Concentração: Ensino

Orientadora:
Profa. Dra MARCIA REGINA ROYER

PARANAVAI
2023

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNESPAR e Núcleo de Tecnologia de Informação da UNESPAR, com Créditos para o ICMC/USP e dados fornecidos pela autora.

Fernandes Mendonça, Viviane
CONTRIBUIÇÕES DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA A APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA DO DOGMA CENTRAL DA BIOLOGIA
MOLECULAR / Viviane Fernandes Mendonça. -- Paranavaí-
PR, 2023.

107 f.: il.

Orientador: Marcia Regina Royer.
Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
Mestrado Acadêmico em Ensino: "Formação Docente
Interdisciplinar") -- Universidade Estadual do
Paraná, 2023.

1. Ensino de Biologia. 2. Mapas Conceituais. 3.
Ensino Médio. I - Regina Royer, Marcia (orient). II
- Título.

VIVIANE FERNANDES MENDONÇA

**CONTRIBUIÇÕES DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA A APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA DO DOGMA CENTRAL DA BIOLOGIA MOLECULAR**

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Marcia Regina Royer (Orientadora) – Unespar-Paranavaí.

Profa. Dra. Zélia Ferreira Caçador Anastácio – UMinho – Braga-Portugal.

Prof. Dr. Airton José Vinholi Júnior – IFMS – Campo Grande

Data de Aprovação:
28/02/2023.

Dedico este trabalho ao meu eterno namorado, Gilson e aos meus filhos queridos, Guilherme e Rafael, fonte de inspiração, fortaleza e incentivo em todos os aspectos da minha vida. Vocês são presentes de valor inestimável para mim.

AGRADECIMENTOS

Dou graças a Deus, que me concedeu a vida e tudo o que é preciso para desfrutar desse dom maravilhoso e à Maria Santíssima, mãe intercessora.

Ao meu esposo Gilson e aos meus filhos Guilherme e Rafael, que mesmo sendo privados de minha presença e atenção, foram compreensivos e me incentivaram.

Aos meus pais Santo e Rosa e às minhas irmãs Thaís e Ana Maria, que completam o meu porto seguro.

Agradeço de modo especial à minha orientadora, Profa. Dra. Marcia Regina Royer, pela orientação sensível em cada detalhe, competência e correção carinhosa que contribuíram imensamente no processo.

Aos professores da banca examinadora Dra. Zélia Ferreira Caçador Anastácio e Dr. Airton José Vinholi Júnior, pelas correções e contribuições para este trabalho.

E por fim, gratidão aos professores e colegas de turma do Programa de Pós-Graduação PPIFOR que participaram desta trajetória, pelos ensinamentos e apoio preciosos.

“Por que aprendizagem significativa? Porque é aprendizagem com significado, compreensão, retenção, capacidade de transferência. Enfim, a aprendizagem que os professores esperam como resultado de sua ação docente”.

(Marco Antonio Moreira)

MENDONÇA, Viviane Fernandes. **Contribuições de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para a Aprendizagem Significativa do Dogma Central da Biologia Molecular.** (107 f). Dissertação (Mestrado em Ensino) – Universidade Estadual do Paraná – Campus de Paranavaí. Orientadora: Profa. Dra Marcia Regina Royer. Paranavaí, 2023.

RESUMO

O Ensino de Biologia Molecular é cercado de conceitos abstratos de difícil aquisição e retenção pelos estudantes. A demanda por um Ensino Médio que proporcione aos estudantes formação que atenda às necessidades de uma sociedade que cresce científica e tecnologicamente abre discussões acerca de estratégias pedagógicas que permitam aos jovens uma formação de qualidade. Como proporcionar aos jovens uma Aprendizagem Significativa? A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa proposta por Marco Antonio Moreira contribui para a aprendizagem significativa do Dogma Central da Biologia Molecular? Considerando a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, esta pesquisa teve como objetivo elaborar e implementar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre o Dogma Central da Biologia Molecular com o intuito de investigar sua contribuição para a Aprendizagem Significativa de estudantes da primeira série do ensino médio. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, de caráter exploratório, definida como um estudo de caso. A implementação ocorreu em um colégio estadual do município de Paranavaí, no Paraná, com 30 alunos da primeira série do Novo Ensino Médio nas aulas do componente curricular Biologia. A coleta de dados foi realizada por meio de questionários pré e pós-teste, gravações em áudio, diário de campo e de mapa conceitual inicial e final. A análise de dados ocorreu conforme a análise de conteúdo de Bardin. Os resultados apontaram que a implementação desta unidade de ensino demandou um tempo prolongado em comparação a uma abordagem mais tradicional. Entretanto, revelou que os materiais utilizados foram potencialmente significativos, uma vez que foram capazes de dialogar, de maneira apropriada e relevante, com os conhecimentos prévios dos estudantes. A análise apontou, também, alterações cognitivas a partir da implementação da sequência didática, ao obter evidências da Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa, que são princípios da Aprendizagem Significativa. Além disso, observou-se a captação de novos significados relacionados ao Dogma Central da Biologia Molecular, em 83,3% dos participantes da pesquisa. Somados a isso, 40% dos estudantes demonstraram capacidade de explicar o conhecimento, enquanto 23,3% dos estudantes demonstraram a capacidade de aplicar os conhecimentos em novas situações-problemas. Recomenda-se, portanto, a adoção dessa unidade de ensino aos professores de Biologia que vislumbram como resultado de sua ação docente uma aprendizagem que tenha significado e compreensão.

Palavras-chave: Ensino de Biologia; Mapas Conceituais; Ensino Médio.

MENDONÇA, VIVIANE FERNANDES. **Contributions of a Potentially Significant Teaching Unit for Meaningful Learning of the Central Dogma of Molecular Biology**. 107 f.). Dissertation (Master in Teaching) – State University of Paraná. Supervisor: Profa. Dra Marcia Regina Royer. Paranavaí, 2023.

ABSTRACT

Molecular Biology Teaching is surrounded by abstract concepts that are difficult for students to acquire and retain. The demand for a high school that provides students with training that meets the needs of a society that grows scientifically and technologically opens discussions about pedagogical strategies that allow young people to have quality training. How to provide young people with Meaningful Learning? Does the Potentially Significant Teaching Unit proposed by Marco Antonio Moreira contribute to the meaningful learning of the Central Dogma of Molecular Biology? Considering David Ausubel's Theory of Meaningful Learning, the aim of this research was to elaborate and initiate a Potentially Significant Teaching Unit on the Central Dogma of Molecular Biology with a view to investigate its contribution to the Meaningful Learning of students in the first year of high school. This is qualitative, exploratory research, defined as a case study. The implementation took place in a public school, in the municipality of Paranavaí, in the state of Paraná, with 30 students from the first grade of New High School in the classes of the Biology curricular component. Data collection was carried out through pre and post-test questionnaires, audio recordings, field journal and initial and final concept map. Data analysis occurred according to Bardin's content analysis. The results emphasized that the implementation of this teaching unit took a long time compared to a more traditional approach. Nevertheless, it revealed that the used materials were potentially relevant, since they were able to dialogue, in an appropriate and relevant way, with the students' previous knowledge. The analysis also pointed to cognitive alterations from the implementation of the didactic sequence, when obtaining evidence of Progressive Differentiation and Integrative Reconciliation, which are principles of Meaningful Learning. Moreover, it was observed that new meanings related to the Central Dogma of Molecular Biology were captured by 83.3% of the research participants. In addition, 40% of students demonstrated the ability to explain knowledge, while 23.3% of students showed the ability to apply knowledge in new problem situations. Therefore, the adoption of this teaching unit is recommended for Biology teachers who glimpse as a result of their teaching activities learning that has meaning and comprehension.

Key words: Biology Teaching; Concept Maps; High School.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplo das formas de aprendizagem significativa em Biologia Molecular.....	39
Quadro 2 - Sequência em oito passos da UEPS.....	43
Quadro 3 - Resumo do Método de Análise dos Resultados.....	51
Quadro 4 - Horário das Aulas Semanais de Biologia na 1º série A	53
Quadro 5 - UEPS sobre o Dogma Central da Biologia Molecular.....	55
Quadro 6 - Resumo da primeira aula da UEPS.....	56
Quadro 7 - Resumo da segunda e terceira aula da UEPS.....	57
Quadro 8 - Resumo da quarta e quinta aula da UEPS.....	59
Quadro 9 - Resumo da sexta, sétima e oitava aula da UEPS.....	61
Quadro 10 - Resumo da nona e décima aula da UEPS.....	61
Quadro 11 - Resumo da décima primeira e décima segunda aula da UEPS.....	62
Quadro 12 - Comparativo das relações significativas nos Mapas Conceituais iniciais e finais.....	81
Quadro 13 - Resultado do questionário pós-teste.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da distribuição das seções na presente dissertação.....	19
Figura 2 - Correlação entre uma informação genética e uma proteína.....	25
Figura 3 - Sítios de ligação ao RNA nos ribossomos.....	27
Figura 4 - Tradução de uma molécula de RNAm.....	28
Figura 5 - <i>Continuum</i> aprendizagem mecânica-significativa.....	37
Figura 6 - Estruturas típicas dos Mapas Conceituais: a) radial, b) linear e c) rede....	46
Figura 7 - Interface do simulador Phet Colorado: expressão gênica.....	60
Figura 8 - Modelagem da transcrição gênica.....	67
Figura 9 - Modelagem da tradução gênica.....	67
Figura 10 - Estudantes em grupo elaborando o Mapa conceitual inicial.....	68
Figura 11 - Categorias de respostas por temática (questionário pré-teste).....	69
Figura 12 - Mapa Conceitual inicial do grupo 1.....	71
Figura 13 - Mapa Conceitual inicial do grupo 2.....	72
Figura 14 - Mapa Conceitual inicial do grupo 3.....	72
Figura 15 - Mapa Conceitual inicial do grupo 4.....	73
Figura 16 - Mapa Conceitual inicial do grupo 5.....	73
Figura 17 - Mapa Conceitual final do grupo 1.....	75
Figura 18 - Mapa Conceitual final do grupo 2.....	76
Figura 19 - Mapa Conceitual final do grupo 3.....	77
Figura 20 - Mapa Conceitual final do grupo 4.....	79
Figura 21 - Mapa Conceitual final do grupo 5.....	80
Figura 22 - Comparativo de algumas respostas do questionário pré-teste e pós-teste.....	87

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

- AS** - Aprendizagem Significativa
- CNT** - Ciências da Natureza e suas Tecnologias
- TAS** - Teoria da Aprendizagem Significativa
- NEM** - Novo Ensino Médio
- UEPS** - Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
- BNCC** - Base Nacional Comum Curricular
- LDB** - Lei de Diretrizes e Bases da Educação
- FGB** - Formação Geral Básica
- IF** - Itinerário Formativo
- DNA** - Ácido Desoxirribonucleico
- RNA** - Ácido Ribonucleico
- RNA_m** - RNA mensageiro
- RNA_t** - RNA transportador
- RNA_r** - RNA ribossômico
- HbA** - Hemoglobina A
- HbS** - Hemoglobina mutante da doença falciforme
- MC** - Mapa Conceitual
- MCA** - Mapa Conceitual Inicial
- MCB** - Mapa Conceitual Final
- TDIC** - Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	16
1. O CONTEXTO DO NOVO ENSINO MÉDIO BRASILEIRO.....	20
1.1 CONSIDERAÇÕES DA ÁREA DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS.....	22
1.2 O ENSINO DO DOGMA CENTRAL DA BIOLOGIA MOLECULAR.....	23
1.2.1. Conceitos relacionados ao Dogma Central da Biologia Molecular.....	24
1.2.2. As doenças metabólicas hereditárias: o caso da anemia falciforme.....	28
2. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE BIOLOGIA...32	
2.1. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL.....	33
2.1.1. Ausubel: contexto de vida e motivação.....	34
2.1.2. Categorias de aprendizagem no contexto escolar.....	35
2.1.3. Tipos e formas de Aprendizagem Significativa.....	38
2.1.4. Condições e processos cognitivos para a Aprendizagem Significativa.....	40
2.2. A UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA.....	42
2.3. OS MAPAS CONCEITUAIS COMO AVALIAÇÃO FORMATIVA.....	44
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	48
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESPAÇO (ESCOLAR) DE PESQUISA.....	48
3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS DE PESQUISA.....	49
3.3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS.....	50
3.4. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	52
3.5. ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DIDÁTICO.....	54
3.6. A IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4.1 MATERIAIS POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVOS.....	64
4.2 RESULTADO DO LEVANTAMENTO DO CONHECIMENTO PRÉVIO.....	68
4.3 ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS INICIAIS.....	71
4.4 ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS FINAIS.....	74
4.5 COMPARATIVO DOS RESULTADOS DOS MAPAS CONCEITUAIS INICIAIS E FINAIS.....	80
4.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO PÓS-TESTE.....	83
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88

REFERÊNCIAS.....	90
APÊNDICES.....	96

INTRODUÇÃO

Na escola contemporânea, há o predomínio da aprendizagem mecânica, que é estimulada pela memorização da nova informação, cujo objetivo é a aprovação em testes. Como esse tipo de aprendizagem não estabelece relações de significado, entre a nova informação e aquilo que o estudante conhece, não possibilita a Aprendizagem Significativa (AS) e como consequência, o estudante não consegue aplicar a informação recebida em um contexto diferente daquele estabelecido no processo ensino-aprendizagem.

O ensino centrado na memorização do conteúdo e na passividade do estudante, não estimula os jovens a estudarem e a permanecerem na escola, principalmente quando se trata da etapa do ensino médio. Resulta em desinteresse e baixo desempenho e torna o ambiente escolar um lugar de apatia, tensão e até violência (PCN+, 2006). As dificuldades de aprendizagem nessa etapa de ensino, apresenta múltiplos fatores, dentre os quais, um currículo desarticulado que não possibilita o emprego de estratégias que favoreçam a AS (TARTUCE *et al.*, 2018). Destacam-se também, o nível de complexidade e abstração dos conteúdos e a motivação dos estudantes (PINHEIRO; COSTA; SILVA, 2013). Masini e Moreira (2017, p. 19), apontam que “a escola contemporânea é muito mais treinadora do que educadora”.

Para que a escola seja mais atrativa ao público do ensino médio, o ensino-aprendizagem deve estimular a integração entre as novas informações com a realidade do estudante. E por meio da linguagem científica organizar esses conhecimentos na estrutura cognitiva do aprendiz (GOMES *et al.*, 2009; FIALHO, 2013; MASINI; MOREIRA, 2017). É nesse contexto, que Santos (2020) afirma que é importante repensar as práticas pedagógicas predominantes.

Em se tratando do ensino do componente curricular Biologia, inserido na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CNT), a falta de interação dos conteúdos com o cotidiano do estudante não é diferente, especificamente no que tange à Biologia Molecular. O estudante se depara com conceitos abstratos, que não são palpáveis, “por exemplo, conceitos de Ácido Desoxirribonucleico (DNA), proteína ou gene, escapam a um acesso sensorial direto dos alunos, ou seja, seu dia a dia” (PCNEM, 2000, p. 60). Entretanto, os conhecimentos associados às temáticas de CNT, embasam o estudante para identificar aspectos éticos, morais, políticos e econômicos

da produção científica e tecnológica e da sua utilização, possibilitando que ele supere posturas que induzem a julgamentos simplistas ou até preconceituosos (PCNEM, 2000). E assim reconheçam as potencialidades e limitações da área (BRASIL, 2018). Neste tocante, o conhecimento relacionado à Biologia Molecular é fundamental para a formação do indivíduo, conforme consta nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio (PCNEM, 2000, p. 9-10):

A percepção da profunda unidade da vida, diante da sua vasta diversidade, é de uma complexidade sem paralelo em toda a ciência e também demanda uma compreensão dos mecanismos de codificação genética, que são a um só tempo uma estereoquímica e uma física da organização molecular da vida. Ter uma noção de como operam esses níveis submicroscópicos da Biologia não é um luxo acadêmico, mas sim um pressuposto para uma compreensão mínima dos mecanismos de hereditariedade e mesmo da biotecnologia contemporânea, sem os quais não se pode entender e emitir julgamento sobre testes de paternidade pela análise do DNA, a clonagem de animais ou a forma como certos vírus produzem imunodeficiências.

Entretanto, o ensino-aprendizagem do Dogma Central da Biologia Molecular é um grande desafio, porque há dificuldades de aplicabilidade e abstração de conceitos abordados, gerando pouco envolvimento no processo (MELO; CARMO, 2009). Esse processo requer a revisão de estratégias metodológicas que facilitem a AS, contribuindo para a formação do sujeito. A prática pedagógica deve, portanto, considerar estratégias e instrumentos de ensino que sejam potencialmente significativos, ou seja, que possibilitem o emprego de significado para o aprendiz, a partir da identificação de sua estrutura cognitiva preexistente.

Nesse sentido, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) apresenta contribuições, porque entende a aprendizagem como um processo dinâmico. Proposta originalmente por David Ausubel em 1963, na obra *The Psychology of Meaningful Verbal Learning: An Introduction to School Learning*, a TAS, é uma teoria de aprendizagem cognitiva, que tem como foco principal a AS. Esse tipo de aprendizagem consiste na “aquisição de novos conhecimentos com significado, compreensão, criticidade e possibilidades de aplicação desses conhecimentos em explicações, argumentações e soluções de situações-problema, inclusive novas situações” (MASINI; MOREIRA, 2017, p. 19).

Conhecer os interesses e o conhecimento prévio do estudante, permite ao professor utilizar uma linguagem mais direcionada, bem como selecionar materiais didáticos que estabeleça significado na estrutura cognitiva do aprendiz, facilitando a

AS. Para Pelizzari *et al.* (2002), a TAS apresenta uma aprendizagem ambientada na comunicação eficaz, no respeito e condução do estudante a imaginar-se integrante desse novo conhecimento por meio de termos familiares a ele, levando o estudante a refletir.

A investigação sobre uma UEPS, na busca de evidências de AS, justifica-se porque é uma sequência de ensino fundamentada na TAS. E que de acordo com Masini e Moreira (2017), objetiva organizar e sistematizar o ensino. Sendo assim, essa pesquisa leva em consideração os princípios de uma UEPS na elaboração e implementação de uma sequência didática, para a 1ª série do ensino médio, tendo em vista que a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), aponta como objetivo de aprendizagem para essa série e etapa “entender o mecanismo de duplicação do DNA, a síntese proteica e a regulação da expressão gênica para compreender o metabolismo celular e posicionar-se nos avanços do conhecimento biológico” (BRASIL, 2018).

Diante da necessidade de superar os desafios do Novo Ensino Médio (NEM), dentre eles a revisão de estratégias metodológicas que favoreçam a AS do Dogma Central da Biologia Molecular, levantamos o seguinte problema de pesquisa: que estratégias didáticas podem facilitar a AS do Dogma Central da Biologia Molecular, diante do alto nível de complexidade e abstração que dificulta o ensino e aprendizagem desse tema no ensino médio?

Assim, traçamos como objetivo geral de pesquisa analisar se uma UEPS sobre o Dogma Central da Biologia Molecular contribui para Aprendizagem Significativa, desse assunto. E, como objetivos específicos, averiguar se há evidências de diferenciação progressiva e/ou reconciliação integrativa; e examinar se os materiais utilizados na sequência didática foram potencialmente significativos.

Esta dissertação está dividida em seções onde podemos verificar na seção 1 a contextualização do NEM com embasamento na legislação vigente, a partir da Constituição Federal, da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, da Lei que ficou conhecida como a Reforma do Ensino Médio e da BNCC. Ademais, realizamos considerações acerca da área de CNT, no que tange à sua importância para a formação do sujeito. Além disso, apresentamos os desafios do ensino-aprendizagem do Dogma Central da Biologia Molecular, bem como os conceitos relacionados à essa temática, relacionando tais conceitos com as doenças metabólicas hereditárias, como a anemia falciforme.

A seção 2, apresenta a TAS como apoio para o ensino-aprendizagem na área de CNT, à luz de David Ausubel. Apresenta, portanto, o contexto de vida e motivação desse autor, as categorias de aprendizagem no contexto escolar, os tipos e as formas de AS, as condições e os processos cognitivos para a AS e é finalizada com a apresentação dos princípios da UEPS.

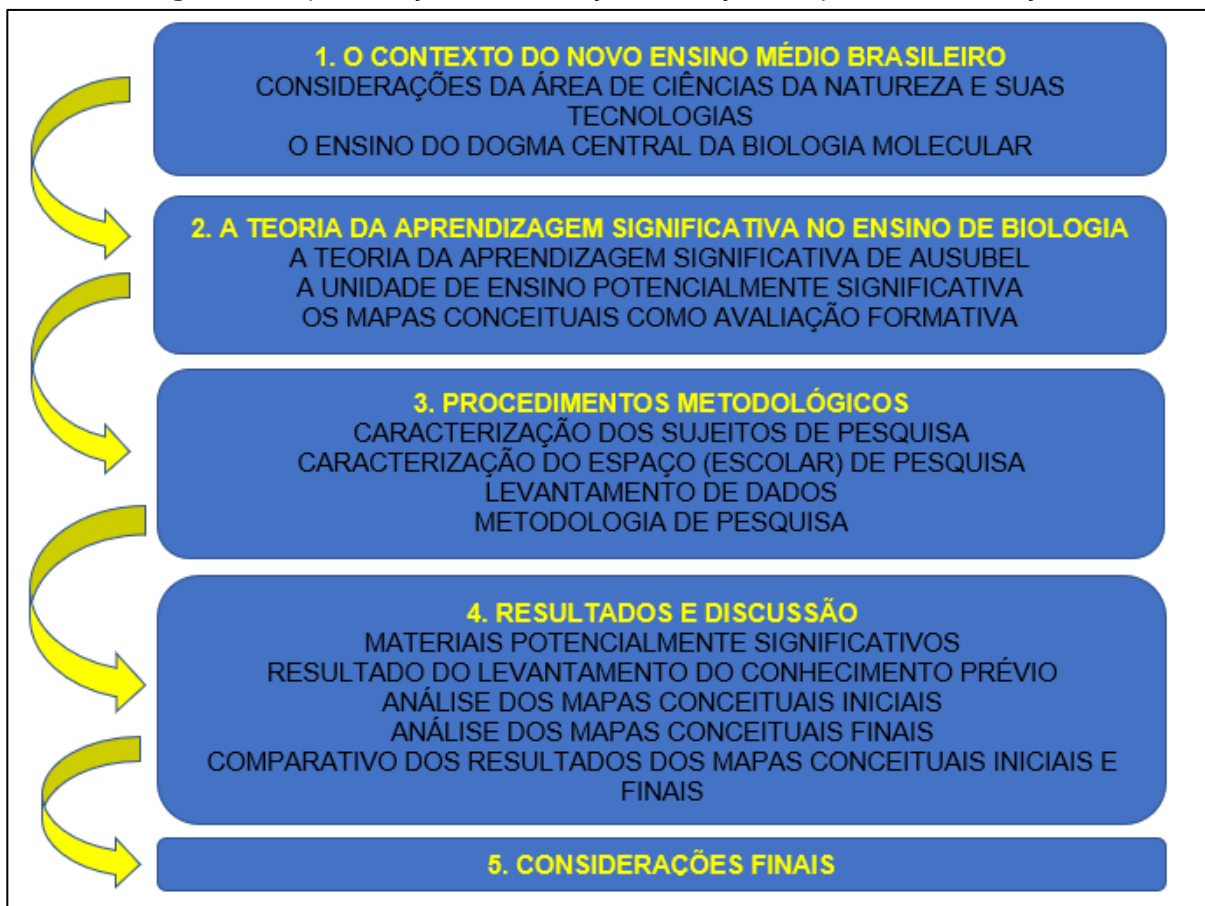
A seção 3, especifica os procedimentos metodológicos adotados nesta investigação, caracteriza o espaço, os sujeitos e a metodologia de pesquisa, bem como a UEPS implementada.

A seção 4 apresenta os resultados da implementação da UEPS e a análise dos resultados obtidos com os instrumentos de coleta de dados.

E por fim, as considerações finais desta pesquisa que estão em consonância entre o problema da pesquisa, o objetivo almejado, a metodologia utilizada e os resultados obtidos.

Para melhor visualização da estrutura da presente pesquisa, foi elaborada uma representação da distribuição das seções, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Representação da distribuição das seções na presente dissertação



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

1. O CONTEXTO DO NOVO ENSINO MÉDIO BRASILEIRO

A educação escolar brasileira é composta pela educação básica e educação superior. O ensino médio, integra a etapa final da educação básica, desde a promulgação da versão mais recente da Lei nº 9.394/96 de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB). Segundo a LDB, o ensino médio tem como finalidades:

- I – a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;
- II – a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;
- III – o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;
- IV – a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina (Art. 35, Lei nº 9.394/96).

Nos termos da legislação vigente, conforme o previsto na Constituição Federal (art. 205) e na LDB (art. 2º) o ensino médio, como integrante da educação básica, visa ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho. Para proporcionar essa formação, é preciso garantir aos educandos “as aprendizagens necessárias para a leitura da realidade, o enfrentamento dos novos desafios da contemporaneidade (sociais, econômicos e ambientais) e a tomada de decisões éticas e fundamentadas” (BRASIL, 2018, p. 463).

O artigo 26 da LDB prevê que os currículos tenham uma base nacional comum. O modelo de currículo único para o ensino médio, previsto na LDB, foi alterado pela Reforma do Ensino Médio (Lei nº 13.415/2017), que estabeleceu um currículo diversificado e flexível composto pela BNCC e por itinerários formativos.

A BNCC é um documento normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais que devem ser desenvolvidas com base em conhecimentos, competências e habilidades. As competências gerais da educação básica, previstas na BNCC, devem orientar as aprendizagens essenciais e as aprendizagens relativas aos itinerários formativos do Novo Ensino Médio (NEM), que está em fase de implantação no Brasil. Com a reforma dessa etapa de ensino, o estudante cursará dois conjuntos de aprendizagens: a Formação Geral Básica (FGB) e os Itinerários Formativos (IF).

A FGB é o principal elemento da parte comum do NEM, obrigatória em todo o país e corresponde a 60% da carga horária, organizada por quatro áreas de conhecimento: linguagens e suas tecnologias, matemática e suas tecnologias, ciências da natureza e suas tecnologias e ciências humanas e sociais aplicadas. Trata-se de um conjunto de competências e habilidades das áreas de conhecimento, que aprofundam e consolidam as aprendizagens essenciais do ensino fundamental, a compreensão de problemas complexos e a reflexão sobre soluções para eles. Cada área de conhecimento deve desenvolver e aprofundar as suas competências específicas, necessárias ao atendimento das especificidades de formação dos educandos. Relacionadas a cada competência específica, são descritas habilidades a serem desenvolvidas ao longo do ensino médio. Assim, a FGB é constituída pelas competências e habilidades da BNCC.

Enquanto os IF, compõem a parte flexível dos currículos que são ofertados aos educandos possibilitando que se dediquem aos conhecimentos na área de seu interesse. Para os IF, estipulados pela Reforma do Ensino Médio, são cinco áreas: linguagens e suas tecnologias, matemática e suas tecnologias, ciências da natureza e suas tecnologias, ciências humanas e sociais aplicadas e formação técnica e profissional. O detalhamento das aprendizagens referentes aos IF, são de responsabilidade dos diferentes sistemas, redes e escolas, conforme previsto na Reforma. Para a BNCC (BRASIL, 2018, p. 478), “os itinerários devem garantir a apropriação de procedimentos cognitivos e o uso de metodologias que favoreçam o protagonismo juvenil”. Para o NEM, os currículos passam a destinar 1800 horas para a FGB e 1200 horas para os IF.

No Estado do Paraná, o documento orientador para a elaboração dos currículos do ensino médio, é o Referencial Curricular para o Ensino Médio, que foi homologado em 2021. Esse documento guia a elaboração dos currículos de todas as redes do estado (estadual, municipais e privadas). A implantação do ensino médio teve início no estado, no ano de 2022, de forma gradativa com os educandos da 1ª série. Nesse primeiro ano de implantação os estudantes cursaram apenas componentes curriculares da FGB e, apenas no fim desse ano tiveram a oportunidade de escolherem o IF para cursá-lo concomitantemente com a FGB a partir do ano de 2023. Apenas, os estudantes que optaram pelo IF de educação profissional, no ano de 2021, quando estavam no 9º ano do ensino fundamental, começaram a cursá-lo, em 2022.

1.1. CONSIDERAÇÕES DA ÁREA DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

Com a expansão das pesquisas em ciência e tecnologia, tendo os seus resultados impactando cada vez mais a sociedade contemporânea, cresce também a necessidade de que as pessoas que não sejam cientistas, adquiram o conhecimento na área e sintam-se aptas a participarem de decisões que repercutam em suas vidas. Por exemplo, temos a difusão para o público em geral, dos resultados das pesquisas nas áreas da Biologia Molecular e Genética, inclusive pelos meios de comunicação em massa, o que intensifica a discussão sobre as implicações éticas, morais e sociais provenientes das biotecnologias geradas por essas pesquisas (PEDRANCINI *et al.*, 2007).

Todavia, é no âmbito escolar que o sujeito deve aprender as linguagens específicas da área das ciências da natureza e suas tecnologias, o que “é parte do processo de letramento científico necessário a todo cidadão” (BRASIL, 2018, p. 552). Aprender ciências da natureza, no ensino médio, requer uma articulação da Biologia, da Física e da Química e o desenvolvimento de competências e habilidades que ampliem e sistematizem as aprendizagens essenciais desenvolvidas no ensino fundamental (BRASIL, 2018). A proposta para a área, é um aprofundamento nas temáticas matéria e energia, vida e evolução e terra e universo, possibilitando ao indivíduo compreender questões relacionadas a essas temáticas e emitir opiniões pautado no conhecimento dos conceitos que as envolvem (BRASIL, 2018).

A BNCC e os currículos, fundamentados na LDB e nas Diretrizes Curriculares Nacionais, orientam para o desenvolvimento de competências, quando indicam a constituição de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores que os educandos devem adquirir e também, quando indicam a mobilização desse conjunto para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho. A área de CNT constitui uma importante referência na interpretação de fenômenos e problemas sociais, uma vez que as competências específicas e as habilidades propostas possibilitam que os educandos explorem situações-problema que envolvam a melhoria da qualidade de vida, a sustentabilidade, a segurança, entre outras (BRASIL, 2018).

Devem ser garantidas aos educandos do ensino médio, três competências específicas da área de ciências da natureza e suas tecnologias:

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.
2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.
3. Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BRASIL, 2018, p. 553).

Embora, a escola reconheça a importância do ensino por competências, privilegia o paradigma do ensino por transmissão de conhecimentos que estimula a aprendizagem mecânica (MOREIRA, 2013). Com o predomínio desse paradigma, há muitos obstáculos a serem superados para que ocorram mudanças reais na educação (FIALHO, 2013). Apresentamos a TAS como proposta para superar esse desafio, na seção 2.

1.2. O ENSINO DO DOGMA CENTRAL DA BIOLOGIA MOLECULAR

A Biologia Molecular investiga os mecanismos pelos quais os genes controlam o desenvolvimento, o crescimento e a fisiologia dos organismos, isto é, a expressão gênica. Para manter a vida, as células do organismo devem armazenar, recuperar e traduzir instruções genéticas, que determinam as características da espécie e do indivíduo (ALBERTS *et al.*, 2017).

Esse mecanismo de controle das células inclui a síntese de proteínas. Nas células, as proteínas compreendem componentes estruturais, como a membrana plasmática, as enzimas que catalisam reações químicas e ainda moléculas de sinalização celular (GRIFFITHS *et al.*, 2016). As proteínas são responsáveis em determinar as propriedades de um organismo, uma vez que participam dos fatores de regulação da expressão gênica.

O fluxo de informação entre as moléculas de DNA, RNA e proteína é o fundamento da Biologia Molecular, tal fluxo é denominado Dogma Central da Biologia Molecular. Compreender conceitos relativos dessa área, no ensino médio é importante

porque dialoga com as outras áreas da Biologia, além de ser a porta de entrada para que os estudantes dominem assuntos mais complexos (FREITAS; MACIEL-CABRAL, 2020; SILVA, 2022). Ainda contribui para a análise e tomada de decisão frente a temas que envolvam ciência, tecnologia e sociedade (SILVA, 2022).

Entretanto, o ensino-aprendizagem do Dogma Central da Biologia Molecular é um desafio no ensino médio. A dificuldade na compreensão da temática, deve-se à complexidade dos processos que a envolve e do alto grau de abstração que exige dos estudantes (GREGÓRIO; OLIVEIRA; MATOS, 2016; FREITAS; MACIEL-CABRAL, 2020; SILVA, 2022). Para superar o desafio, é preciso desenvolver estratégias que facilitem o ensino-aprendizagem, como identificar as diferentes formas de aprender do estudante e adaptar as metodologias para uma aprendizagem relevante (FREITAS; MACIEL-CABRAL; SILVA, 2022).

1.2.1. Conceitos relacionados ao Dogma Central da Biologia Molecular

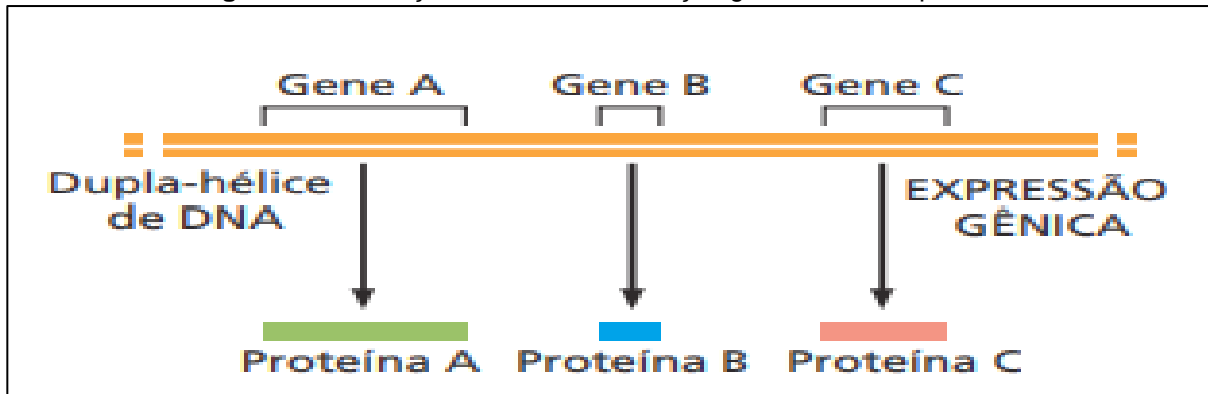
Apesar dos avanços da Biologia Molecular, o conceito de gene ainda permanece em construção. Isso ocorre devido à complexidade da estrutura e dinâmica dos genomas (PITOMBO; ALMEIDA; EL-HANI, 2007). Tendo em vista a multiplicidade do conceito, decidimos adotar nesta pesquisa o conceito molecular clássico, que considera o gene como um segmento da molécula de DNA que fornece instruções para a síntese de um produto funcional.

Geralmente esse produto funcional ou produto gênico é um polipeptídeo ou proteína, que consiste em uma macromolécula com mais de setenta aminoácidos unidos por ligações peptídicas, em que o grupo carboxila de um aminoácido liga-se ao grupo amino de outro. A expressão gênica consiste, portanto, na decodificação da informação genética contida nos genes, o que envolve a transcrição de uma molécula de RNA mensageiro (RNAm), que será traduzida no citoplasma, em um produto gênico (Figura 2).

Posto que, o centro de comando da síntese de proteínas é a molécula de DNA, a sua estrutura tridimensional e química é fundamental para o processo. Conhecida como dupla hélice, a estrutura tridimensional do DNA, consiste em duas cadeias helicoidais de DNA que se enrolam ao redor do mesmo eixo, com giro para a direita, com as bases nitrogenadas voltadas para dentro da molécula, e a cadeia açúcar-fosfato voltada para fora. Essas duas cadeias são antiparalelas porque uma das

cadeias inicia-se por um nucleotídeo com um grupamento fosfato livre, ou extremidade 5', enquanto a outra extremidade possui um nucleotídeo com um grupamento hidroxila livre, sendo denominada de extremidade 3'. Logo, as orientações das cadeias do DNA são inversas, enquanto uma é no sentido 5' → 3' a outra é no sentido 3' → 5' (GRIFFITHS *et al.*, 2016).

Figura 2 - Correlação entre uma informação genética e uma proteína



Fonte: Alberts (2017, p. 178).

Em se tratando de sua estrutura química ou primária, a molécula de DNA é um polímero de nucleotídeos, em que cada nucleotídeo é formado por um grupamento fosfato, uma pentose e uma base nitrogenada. A pentose do DNA é a desoxirribose e as bases nitrogenadas podem ser de quatro tipos diferentes: adenina (A), citosina (C), guanina (G) e timina (T). Assim, também é possível afirmar que as cadeias do DNA são complementares, porque ocorre um pareamento entre as bases nitrogenadas, sendo que a A pareia com a T e a C pareia com G. Essa complementariedade constitui a propriedade fundamental dessa molécula, que é armazenar a informação genética e transmiti-la de geração em geração (WATSON *et al.*, 2015; GRIFFITHS *et al.*, 2016; ALBERTS *et al.*, 2017).

Por sua vez, o RNA é uma molécula distinta do DNA, principalmente porque tem uma cadeia única de nucleotídeos e a ribose, como a pentose desses monômeros. Além disso, os nucleotídeos do RNA possuem quatro tipos de bases nitrogenadas a uracila (U) que pareia com a base A e a bases nitrogenadas C e G que são complementares. Entretanto podem haver exceções, “é possível encontrar outros tipos de pareamento de bases no RNA: por exemplo, G ocasionalmente forma par com U” (ALBERTS *et al.*, 2017, p. 302). A complementariedade entre as bases nitrogenadas do DNA e do RNA, também são importantes porque possibilitam a

síntese de proteínas (WATSON *et al.*, 2015; GRIFFITHS *et al.*, 2016; ALBERTS *et al.*, 2017).

As proteínas são sintetizadas no ribossomo, enquanto o centro de comando desse processo, como supracitado, está no núcleo celular. Explica-se desse modo a necessidade de transcrever o gene para o RNAm que é capaz de migrar até o citoplasma. A transcrição do RNA ocorre sempre no sentido 5' → 3' e tem polaridade inversa à da cadeia de DNA que está sendo usada como molde, a cadeia antissense (ALBERTS *et al.*, 2017). E desse modo, a sequência de nucleotídeos da cadeia molde determinará a sequência de nucleotídeos do RNAm. A região anterior ao gene, denominada promotor, é o local de ligação da enzima RNA polimerase, responsável pela síntese de RNA (GRIFFITHS *et al.*, 2016; ALBERTS *et al.*, 2017). Enquanto no final do gene, há uma sequência de término da transcrição, o finalizador (GRIFFITHS *et al.*, 2016; ALBERTS *et al.*, 2017).

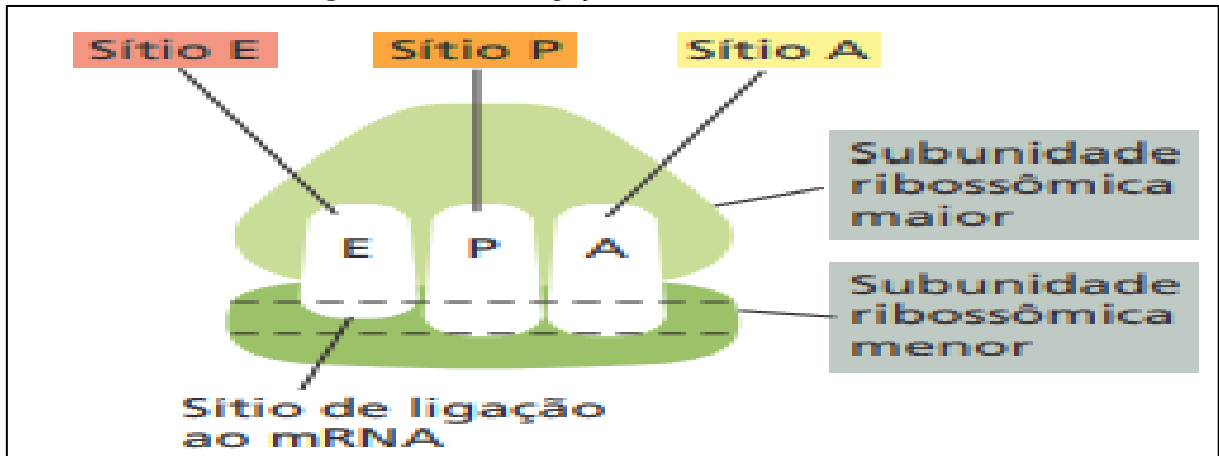
No início da transcrição do RNAm, ocorre a ligação da holoenzima ao DNA no promotor, a deselicoidização do DNA produzindo uma cadeia molde e a formação do complexo de iniciação, com a síntese de poucos nucleotídeos, sem a necessidade de um *primer* na extremidade 5' do RNA (GRIFFITHS *et al.*, 2016; ALBERTS *et al.*, 2017).

Na sequência dessa etapa, a RNA polimerase move-se ao longo do molde a jusante, adicionando nucleotídeos à molécula de RNA de modo complementar aos que estão na cadeia molde e helicoidizando o DNA na margem antecedente de transcrição (GRIFFITHS *et al.*, 2016; ALBERTS *et al.*, 2017). A RNA polimerase move-se até encontrar o sinal de finalização, que é um conjunto específico de nucleotídeos, no DNA (GRIFFITHS *et al.*, 2016; ALBERTS *et al.*, 2017). Com a síntese dos finalizadores, a transcrição termina, tais finalizadores ocorrem antes do ponto de término da transcrição, assim, a RNA polimerase cessa a síntese de RNA separando a molécula de pré-RNAm do DNA (GRIFFITHS *et al.*, 2016; ALBERTS *et al.*, 2017). A molécula de pré-RNAm passa por um processo de recomposição ou *splicing*, que é um processo de edição do RNAm em que são removidas as regiões não codificantes do gene – os *íntrons* e desse modo, forma-se o RNAm apenas pelas regiões codificantes – os *éxons*. Depois de editado o RNAm vai para o citoplasma para a síntese de proteínas (WATSON *et al.*, 2015).

No ribossomo, local da tradução do RNAm em proteína, existem sítios-chave de interação (Figura 3). O sítio de interação do RNAm encontra-se dentro da subunidade menor da organela. Para o RNA transportador (RNAt), existem três sítios

de interação na subunidade maior do ribossomo, os sítios E (do inglês, *exit*), P (peptidil) e A (aminoacetil) (GRIFFITHS *et al.*, 2016).

Figura 3 - Sítios de ligação ao RNA nos ribossomos



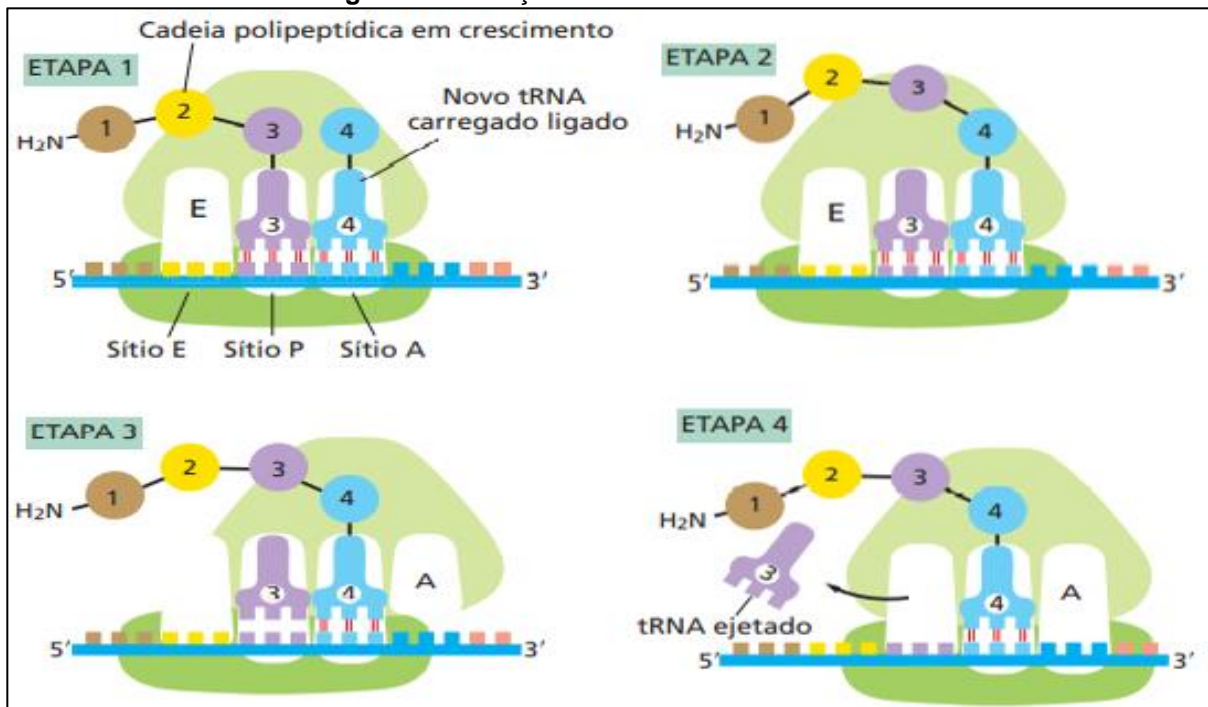
Fonte: Alberts (2017, p. 342).

O RNAt tem um anticódon, que é uma trinca de nucleotídeos complementar ao códon do RNAm, e liga-se a ele pelo sítio A do ribossomo. No sítio P, entra o RNAt iniciador e os demais RNA transportadores após passarem pelo sítio A, enquanto o sítio E, é o local de saída do RNAt que não tem aminoácido e será liberado do ribossomo (ALBERTS *et al.*, 2017). No processo de tradução, participam além do RNAt e do RNAm, o RNA ribossômico (RNAr), que participa da constituição do ribossomo.

A tradução ocorre em três etapas, a iniciação, o alongamento e a terminação. A iniciação ocorre quando o RNAt do aminoácido metionina, associa-se ao códon de iniciação do RNAm que está na subunidade menor do ribossomo. O códon de iniciação do RNAm é o AUG formado pelas bases nitrogenadas A, U e G, assim no RNAt da metionina tem um anticódon complementar UAC, formado pela U, A e C (WATSON *et al.*, 2015). Então, o RNAt da metionina associa-se ao sítio P na subunidade maior do ribossomo, e o sítio A permanece vazio até a etapa de alongamento. Nessa etapa, um RNAt do aminoácido que corresponde ao códon seguinte do RNAm encaixa-se no sítio A e uma ligação peptídica é estabelecida entre os dois aminoácidos e o RNA da metionina é liberado (WATSON *et al.*, 2015). O ribossomo desloca-se no RNAm e os aminoácidos ligados ocupam o sítio P. E assim, sucessivamente o RNAt com o anticódon complementar associa-se ao RNAm pelo sítio A, a ligação peptídica é estabelecida e o ribossomo desloca-se para o próximo

códon, deixando novamente o sítio A vazio (WATSON *et al.*, 2015). Essa sequência se repete e o polipeptídeo vai se formando até a fase de terminação, em que o sítio A é ocupado por proteínas que se ligam ao códon de terminação ou códon de parada, cessando a síntese (Figura 4).

Figura 4 - Tradução de uma molécula de RNAm



Fonte: Alberts (2017, p. 343).

Após a síntese de proteínas, os polipeptídeos podem sofrer modificações, como dobramentos que caracterizam a estrutura secundária ou a terciária da proteína. Os produtos gênicos podem ser variados, visto que há a possibilidade da recomposição do pré-RNAm ocorrer de diferentes formas, formando RNAm distintos, além da possível modificação de um polipeptídeo após a tradução (ALBERTS *et al.*, 2017).

1.2.2. As doenças metabólicas hereditárias: o caso da anemia falciforme

As doenças metabólicas hereditárias ocorrem quando a proteína funcional não é sintetizada corretamente, devido à ocorrência de mutações gênicas. Qualquer alteração do DNA que não seja explicada pela recombinação genética é considerada uma mutação, que pode ser do tipo cromossômica ou gênica. Proteínas defeituosas

ou ausentes, podem causar doenças graves, pois afetam o metabolismo (GRIFFITHS *et al.*, 2016).

As mutações cromossômicas são alterações na quantidade ou na estrutura dos cromossomos, enquanto as mutações gênicas ocorrem em genes particulares, isto é, em regiões codificantes do DNA, podendo causar defeitos no produto gênico. Para buscar uma relação entre os genes e as proteínas, as pesquisas mais produtivas analisaram como as alterações gênicas afetam determinadas proteínas na célula, despertando o interesse no estudo do erro inato do metabolismo ou doenças metabólicas hereditárias, como a fenilcetonúria e a doença falciforme ou hemoglobinopatia (WATSON *et al.*, 2015). Compreender como os genes funcionam e o motivo de causarem doenças quando alterados é o campo de investigação da Biologia Molecular (ZATZ, 2002).

Com a mutação que ocorre na doença falciforme, as hemácias têm o seu formato alterado porque a principal constituinte dessa célula, a hemoglobina é sintetizada com defeito. As mutações gênicas interferem na expressão do gene, porque podem impossibilitar a síntese de proteínas funcionais, em alguns casos, basta um único nucleotídeo alterado para modificar um aminoácido da proteína (ALBERTS *et al.*, 2017).

A hemoglobina A (HbA), é uma proteína composta por quatro cadeias de globina, sendo que em adultos, são duas globinas do tipo α e duas do tipo β , sendo que a mutação ocorre na β -globina. A mutação decorre de uma alteração do gene na trinca CTT para CAT, o que altera o códon do RNAm de GAA para GUA, ou seja, o aminoácido glutamina é trocado pelo aminoácido valina, causando a produção da hemoglobina mutante (HbS) (NETO; PITOMBEIRA, 2003; WATSON *et al.*, 2015; GRIFFITHS *et al.*, 2016). Assim, a “doença falciforme é um termo genético usado para determinar um grupo de alterações genéticas caracterizadas pelo predomínio de HbS” (MANFREDINI *et al.*, 2007, p. 3). Ao considerar a doença falciforme no Brasil, a que mais tem destaque é a anemia falciforme (BATISTA; ANDRADE, 2005).

O alelo mutante (S) para a síntese da β -globina, tem caráter recessivo, ou seja, quando o indivíduo possui o alelo S em ambos os cromossomos homólogos (SS), produz hemácias com aspecto de foice, caracterizando a anemia falciforme, que é a forma mais grave da doença (MANFREDINI *et al.*, 2007). Enquanto, o indivíduo que possui apenas um alelo S (S+), possui a forma menos grave da doença, conhecida como traço falcêmico, em que as hemácias possuem um formato quase normal

(GRIFFITHS *et al.*, 2016). A hemoglobina mutante tem propriedades físico-químicas diferentes da hemoglobina normal, alterando o formato e a rigidez da hemácia, dificultando a passagem do sangue em vasos de menor calibre (NETO; PITOMBEIRA, 2003). Como resultado, o portador da anemia falciforme, pode ter quadros clínicos variáveis, podendo ser assintomático ou apresentar sintomas severos, conforme relatado por Silva *et al.* (2017, p. 36)

A anemia falciforme pode ocasionar vários tipos de sintomas em indivíduos portadores dessa enfermidade, como crises vasclusivas, precipitadas por infecção, acidose, desidratação e desoxigenação; crises de sequestro visceral, ocasionadas por deformação falciforme dos eritrócitos e retenção do sangue em órgãos; crises aplásticas, causada principalmente por deficiência de folato; e, a mais famosa, crise hemolítica, caracterizada por aumento do ritmo de hemólise com queda de hemoglobina e aumento de reticulose.

Portanto, quanto mais cedo inicia-se o tratamento, melhor qualidade de vida é proporcionada ao portador da doença. Sem o tratamento, a anemia falciforme seria fatal (GRIFFITHS *et al.*, 2016). Como em outras doenças metabólicas hereditárias, o diagnóstico precoce é importante, isso porque o tratamento consiste em amenizar as consequências da anemia crônica, as crises de falcização e a suscetibilidade às infecções (BATISTA; ANDRADE, 2005). Rodrigues (2017, p. 33), aponta a importância da educação para o diagnóstico precoce da doença falciforme:

O tratamento com o paciente deve ser iniciado desde os primeiros meses de vida. A educação dos pais ou responsáveis sobre a doença é de suma importância, desde a primeira consulta, devem ser orientados quanto à importância de manter hidratação e nutrição adequadas e conhecer os níveis de hemoglobina e sinais de palidez. Os familiares devem ser alertados sobre a importância da prevenção das infecções, através das vacinações e do uso da penicilina profilática e encorajados a reconhecer as intercorrências da doença.

Destaca-se, então a educação como meio de conscientizar a população da importância do teste do pezinho ou triagem neonatal. Esse teste “detecta precocemente suspeitas das seguintes doenças congênitas: fenilcetonúria, hipotireoidismo congênito, doença falciforme e outras hemoglobinopatias e fibrose cística” (RODRIGUES, 2017, p. 29). Além, disso uma população mais esclarecida, reconhecerá a importância de procurar o aconselhamento genético. De acordo com Zatz (2002) e Rodrigues (2017), os casais em risco de gerar novos indivíduos afetados

por doenças metabólicas hereditárias, devem ser aconselhados pelos serviços de saúde.

Diante do exposto, evidencia-se a relevância do ensino de conceitos relacionados à Biologia Molecular no ensino médio, porque além de conscientizar a população estimula o avanço da área. Isso porque, “entender como nossos genes funcionam é o primeiro passo para o tratamento dessas patologias” (ZATZ, 2002, p. 86).

2. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO CONTEXTO DO ENSINO DE BIOLOGIA

O ensino do Dogma Central da Biologia Molecular apresenta desafios na etapa final da educação básica – o ensino médio. E repensar as estratégias de ensino-aprendizagem é um dos fatores importantes para a superação desses desafios, como visto na Seção 1. É preciso repensar as estratégias didáticas que não contemplam o educando como sujeito ativo no processo ensino-aprendizagem (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2020). Além disso, quando o conteúdo escolar é desconexo da realidade do educando, como é comum no ensino de ciências da natureza, “nos deparamos com sujeitos ‘escolarizados’, cujo conhecimento não lhe permite analisar fenômenos científicos, além do imediato” (PEDRANCINI *et al.*, 2007, p. 306). E perceber que os educandos “estão apenas decorando conteúdos mecanicamente é uma frustração, uma perda de tempo” (MOREIRA, 2021, p. 34).

Para implementar práticas pedagógicas bem sucedidas, o docente deve ser orientado pelas teorias da aprendizagem, visto que entender de que forma ocorre a aprendizagem é fundamental no planejamento didático. Tais referenciais teóricos e práticos da psicologia e do desenvolvimento devem ser apropriados pelos professores para que possam promover a aprendizagem e o desenvolvimento das capacidades psíquicas dos estudantes (PEDRANCINI *et al.*, 2007). Desse modo, é possível compreender também, quais aspectos da aprendizagem podem ser explorados por estratégias metodológicas, para obtenção da AS (CABRERA, 2007).

E assim, elaborar materiais de ensino potencialmente significativos para facilitar a integração da nova informação à estrutura cognitiva do aprendiz, de modo significativo (não-arbitrária e não-literal). Logo, o professor deve atuar como um problematizador que coloca o educando em situações de interação sujeito-objeto (GOMES *et al.*, 2009), diversificando as atividades em sala, as técnicas de ensino e os materiais pedagógicos (FIALHO, 2013). Para Moreira (2013), a abordagem curricular por competências, que é a proposta contemporânea brasileira, não rejeita conteúdos e disciplinas e pode ter enfoque na AS que “é um referencial promissor para o desenvolvimento e alcance de competências” (MOREIRA, 2013, p. 43), porque permite a aquisição de conhecimentos com a capacidade de usá-los para agir eficazmente em determinadas situações. Assim, “quanto mais conhecimentos

significativos o sujeito adquire mais competências desenvolve e quanto mais competências desenvolve, mais conhecimentos adquire e mais diferencia, estabiliza, clarifica os já assimilados” (MOREIRA, 2013, p. 41).

Nesse contexto, a TAS apoia o processo ensino-aprendizagem de CNT no NEM, pois possibilita a contextualização dos conhecimentos científicos, promovendo um aprendizado que capacite o indivíduo a tornar-se apto a construir sua própria formação. A Subseção 2.1, trata da TAS ausubeliana.

2.1. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

As primeiras formulações da TAS, realizadas pelo educador, psicólogo e pesquisador estadunidense, David Paul Ausubel ocorreram, na década de 60 do século XX. Segundo Pelizzari *et al.* (2002), foi uma das primeiras teorias psicoeducativas que buscam explicar a aprendizagem escolar e o ensino, contrapondo-se aos princípios comportamentalistas. Além disso, Ausubel tornou-se um representante do cognitivismo e crítico do behaviorismo radical proposto por Skinner (CAVALCANTI, 2016).

A teoria da aprendizagem comportamentalista ou behaviorista, segundo Moreira (1999), entende o aprendiz como um ser que responde à estímulos que lhe são apresentados, isto é, enfatiza o estudo de manipulações do ambiente objetivo para produzir mudanças comportamentais. Ausubel, Novak e Hanesian (1980), afirmam que na perspectiva comportamentalista, a aprendizagem ocorreria apenas se o conteúdo fosse ensinado por alguém, desprezando-se o conhecimento do aprendiz. Enquanto, para os autores cognitivistas, como Ausubel, a aprendizagem tem ênfase na cognição, por meio do qual o mundo de significados tem origem (MOREIRA, 1999). Para eles a estrutura cognitiva “é o complexo resultante dos processos cognitivos, ou seja, dos processos por meio dos quais se adquire e utiliza o conhecimento” (MOREIRA, 1999, p. 152).

Como teoria cognitiva, a TAS culmina na capacidade de acionamento, uso e resignificação de conhecimentos em problemáticas contextualizadas e avançadas, devido sua ênfase na aquisição, armazenamento e organização das ideias na estrutura cognitiva (FILHO; FERREIRA, 2022). Trata da aprendizagem mecânica e significativa, seja por recepção ou descoberta, que veremos na Subseção 2.1.2,

entretanto, enfatiza a AS, que promove a aquisição e a retenção de conhecimentos e produz novos significados na estrutura cognitiva do aprendiz.

2.1.1. Ausubel: contexto de vida e motivação

Ausubel nasceu em Nova Iorque, nos Estados Unidos da América (EUA) em 25 de outubro de 1918, de família judaica e pobre. Seus pais participaram do movimento migratório dos judeus aos EUA, que ocorreu entre 1905 a 1914. Sua infância foi marcada por um período de perseguição aos judeus, que eram acusados, junto aos demais europeus de classe baixa, de serem a causa do aumento da criminalidade nos EUA (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2020). Na escola, também havia repressão e castigos aos estudantes judeus, com métodos abusivos e humilhantes relatados pelo próprio autor (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

No ano de 1939, graduou-se bacharel em psicologia, em 1940 realizou o mestrado em psicologia experimental, em 1943 graduou-se em medicina e em 1950 tornou-se doutor em psicologia do desenvolvimento (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2020). A insatisfação com a sua trajetória escolar, inspirou a TAS, visto que a sua formação educacional no contexto formal, não contribuiu com seu desenvolvimento profissional e para a aprendizagem de novos conhecimentos (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2020). Ausubel, revelou sua insatisfação até com o curso de medicina que frequentou, porque os conteúdos eram descontraídos e fragmentados (NETO, 2006).

Com base em sua experiência pessoal de escolarização e no conhecimento obtido como médico e professor, buscou sistematizar os princípios que propiciam ao ser humano organizar a sua experiência e atribuir significados à sua realidade, construindo a TAS (MASINI; MOREIRA, 2017). Ausubel, desenvolveu uma teoria cognitivista, fundamentada no modelo epistemológico interacionista, cujo principal teórico é Jean Piaget, porém, segundo Neto (2006), apesar de concordarem com ideias de alguns aspectos do desenvolvimento cognitivo, em termos de AS, o trabalho de Ausubel se distingue do trabalho de Piaget. Moreira (2013, p. 43) explica,

os esquemas de Piaget são esquemas de ação. Os subsunçores de Ausubel são conhecimentos significativos que, progressivamente, vão ficando mais claros, com mais significados, mais diferenciados, mais estáveis e mais capazes de servir de ancoradouro cognitivo para novos conhecimentos em um processo cognitivo interativo.

Assim, apesar de concordarem que assimilar é incorporar um novo conceito em um padrão preexistente na estrutura cognitiva do aprendiz, a TAS aprofunda esse conhecimento ao descrever a assimilação e sua progressão evolutiva.

Em 1963, apresentou a sua Teoria da Aprendizagem Significativa Verbal Receptiva, no seu livro *The Psychology of Meaning Verbal Learning* e em 1968 aprimorou as suas ideias no livro *Educational Psychology: a Cognitive View* (PRAIA, 2000). Ausubel, trabalhou como professor em diversas universidades: *Long Island University, University of Illinois, Ontario Institute for Studies in Education, University of Toronto* e a *City University of New York*, até 1973 e aposentou-se da vida acadêmica para dedicar-se integralmente à psiquiatria, embora ainda atuasse como professor visitante em algumas universidades até 1980 (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2020).

Publicou vários livros e artigos sobre psicologia do desenvolvimento e da educação, entre outros temas e se aposentou completamente da vida profissional, em 1994, aos 76 anos de idade, dedicando seus últimos anos de vida à escrita, publicou mais quatro livros. Entre as obras produzidas nesse período, destaca-se a revisão completa da obra de 1963, em seu livro *The Acquisition and Retention of Knowledge: a Cognitive View*, publicado em 2000, que expandiu, esclareceu, diferenciou e destacou os principais objetivos psicológicos, variáveis e processos envolvidos na AS e retenção. Tal obra, publicado em língua portuguesa no ano de 2003, merece destaque porque o autor altera alguns conceitos, como por exemplo, o conceito de organizadores prévios que passa a ser denominado de organizadores avançados, além disso, foi a última obra de David Ausubel, que faleceu em 9 de julho de 2008.

2.1.2. Categorias de aprendizagem no contexto escolar

No desenvolvimento da TAS, Ausubel realizou uma distinção entre as classes de aprendizagem no contexto escolar (PRAIA, 2000). Considerou as classes de aprendizagem como receptiva, por descoberta, mecânica e significativa (MORAES, 2005). Na aprendizagem por recepção, a informação é apresentada ao aprendiz em sua forma final, enquanto na aprendizagem por descoberta, os conceitos não são fornecidos de forma pronta, mas são descobertos pelo aprendiz, com seus próprios recursos, sendo a aprendizagem típica dos problemas do cotidiano e das fases iniciais do desenvolvimento cognitivo (PRAIA, 2000).

Ausubel, considera que a aprendizagem receptiva ou aprendizagem por descoberta podem acontecer mecanicamente ou significativamente. Para Ausubel, não há uma relação direta entre esses tipos de aprendizagem, podendo surgir diversas combinações, por exemplo, a aprendizagem por recepção mecânica ou significativa, e a aprendizagem por descoberta mecânica ou significativa, o que dependerá das condições empregadas no processo de aprendizagem e dos processos cognitivos estabelecidos pelo aprendiz (MORAES, 2005).

AS é um processo que ocorre quando, uma nova informação é ancorada¹ em conceitos ou proposições relevantes presentes anteriormente na estrutura cognitiva do aprendiz, ou seja, quando ocorre uma conexão entre a nova informação e aquilo que se sabe. Assim, verificar o conhecimento prévio do estudante é primordial na facilitação da AS, ao considerar que “hoje todos reconhecemos que nossa mente é conservadora, aprendemos a partir do que já temos em nossa estrutura cognitiva” (MOREIRA, 2005, p. 13).

Tais conceitos ou proposições preexistentes, servem de ancoradouro para a nova informação e é definida por Ausubel como subsunçores (MOREIRA, 1999). E quando ocorre a AS, o subsunçor é modificado, “isto é, à medida que a aprendizagem começa a ser significativa, esses subsunçores vão ficando cada vez mais elaborados e mais capazes de ancorar novas informações” (MOREIRA, 1999, p. 153). Ausubel (1978), citado por Moreira (1999, p. 155), destaca a importância do conhecimento prévio para que ocorra a AS:

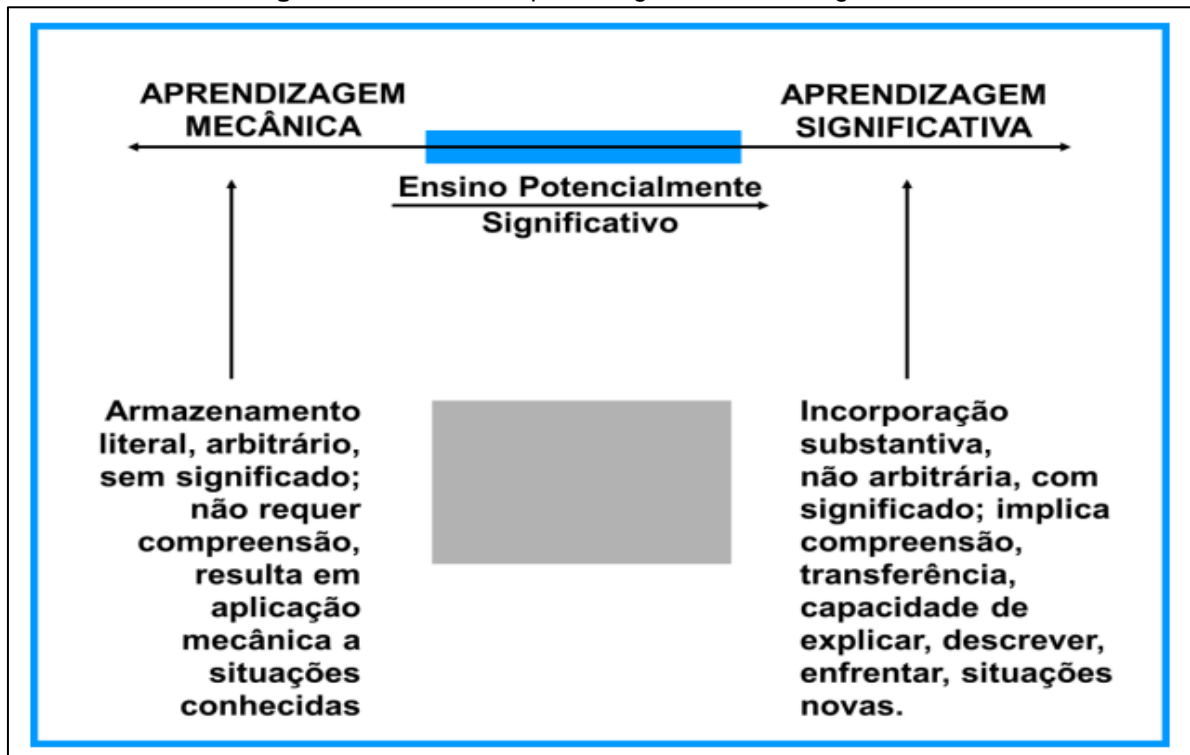
a essência do processo de aprendizagem significativa é que idéias simbolicamente expressas sejam relacionadas de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária ao que o aprendiz já sabe, ou seja, a algum aspecto de sua estrutura cognitiva especificamente relevante para a aprendizagem dessas idéias. Este aspecto especificamente relevante pode ser, por exemplo, uma imagem, um símbolo, um conceito, uma proposição, já significativo.

Quando há pouca ou nenhuma ancoragem da nova informação com os subsunçores, tem-se a aprendizagem mecânica. Pelizzari *et al.* (2002), apontam que, esse tipo de aprendizagem produz menos a incorporação e a atribuição de significado e a nova informação é armazenada isoladamente ou por meio de associações arbitrárias na estrutura cognitiva, culminando na memorização de fórmulas e leis que

¹ O termo ancorar, na TAS, refere-se a estabelecer relações entre conhecimentos novos e prévios.

são esquecidas após a avaliação. E, concordando com Masini e Moreira (2017, p. 30), “após algum tempo parece que nunca aprendemos esses conhecimentos, nunca fizeram parte de nossa vida. Uma grande perda de tempo. Nada a ver com educação.” Entretanto, para a TAS a aprendizagem mecânica é necessária até que se alcance a AS, isto é, enquanto na estrutura cognitiva não houver alguns subsunçores na mesma área da nova informação (MOREIRA, 1999), ou seja, “é possível que uma aprendizagem inicialmente mecânica evolua até uma aprendizagem com significado, com compreensão” (MOREIRA, 2021, p. 27). Desse modo, a aprendizagem mecânica e a AS não são dicotômicas, mas formam um contínuo (MOREIRA, 1999). Grande parte do processo de aprender ocorre na zona cinza, conforme a Figura 5, que representa o *continuum* aprendizagem mecânica e significativa.

Figura 5 - *Continuum* aprendizagem mecânica-significativa



Fonte: Moreira (2015, p. 4).

O enfoque da TAS, é na AS receptiva, porque, segundo Ausubel, é o mecanismo humano por excelência, para adquirir e armazenar ideias e informações de qualquer área do conhecimento e destaca que não se deve pensar esse tipo de aprendizagem como sendo passiva, visto que, a AS é um processo dinâmico na estrutura cognitiva (MOREIRA, 1999).

Na AS, ocorre a interação cognitiva entre o novo conhecimento e os subsunçores, de modo substantivo e não arbitrário, o que capacita a explicá-lo, descrevê-lo e aplicá-lo, inclusive a situações novas e com maior retenção (MOREIRA, 2021). E progressivamente os subsunçores vão ficando cada vez mais elaborados, sendo esse um dos processos cognitivos da AS, denominado diferenciação progressiva, que ocorre simultaneamente com outro processo, a reconciliação integrativa ou integradora. A dinâmica desses processos resulta em uma estrutura cognitiva de conhecimentos hierarquicamente organizada em determinado campo de conhecimentos, sendo uma hierarquia mutável, à medida que ocorrem novos processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (MOREIRA, 2011; 2021), conforme veremos na Subseção 2.1.4.

2.1.3. Tipos e formas de Aprendizagem Significativa

Ausubel descreve também, três tipos de AS que são denominadas representacional, conceitual e proposicional. A aprendizagem representacional, é o tipo mais básico do qual os outros dois tipos dependem (PRAIA, 2000). Envolve a atribuição de significados a determinados símbolos arbitrários, que passam a exercer uma relação de equivalência a conceitos, exemplos e objetos, que são os seus referentes, ou seja, esse tipo de aprendizagem permite identificar a palavra ou símbolo com os referentes que representam. É um tipo de AS, porque proposições equivalentes podem ser relacionadas com as generalizações que ocorrem na estrutura cognitiva do aprendiz, nos primeiros anos de vida, isto é, a palavra ou símbolo significa aquilo que seu referente significa (PRAIA, 2000). Ausubel considera que esse tipo de aprendizagem é a que mais se aproxima da aprendizagem mecânica.

Quando ocorre a percepção de regularidades que define os conceitos, não necessitando de símbolos concretos, ocorre a aprendizagem conceitual, que é um nível de aprendizagem representacional mais elevado. Nesse caso, os conceitos são representados por símbolos genéricos ou categóricos, que representam abstrações dos atributos dos referentes. Assim, ocorre a aprendizagem de que o conceito está representado por uma palavra ou de que existe uma equivalência entre a palavra que representa o conceito e o próprio conceito (PRAIA, 2000). Esse tipo de aprendizagem pode ser significativa, desde que seja substantiva e não-arbitrária (MORAES, 2005).

Para que ocorra a aprendizagem proposicional, o aprendiz precisa aprender significativamente ideias em forma de proposição, sendo relevante combinar e relacionar várias palavras produzindo uma nova proposição. Não se trata de aprender o significado isolado das palavras que compõem uma proposição, mas de aprender a ideia que está além da soma de conceitos em uma proposição (MOREIRA; MASINI, 1982).

Além dos tipos, há três formas de AS: por subordinação, superordenada e combinatória (MOREIRA, 2021). A aprendizagem por subordinação, é uma forma de aprendizagem significativa que ocorre por meio da interação da nova informação com o subsunçor, modificando-o. Com a ocorrência desse processo, os subsunçores vão assimilando progressivamente mais conceitos e assim ampliando o seu âmbito, tornando-se capaz de ancorar outros conhecimentos novos, processo conhecido na TAS, como diferenciação progressiva. Ausubel denomina esse tipo de aprendizagem de assimilação, entretanto, é preciso não confundir essa forma de aprendizagem com a assimilação piagetiana (MOREIRA, 2021). Segundo Masini e Moreira (2017), são processos diferentes, sob perspectivas diferentes, a de Ausubel é a da aquisição significativa de conhecimentos por recepção, enquanto a de Piaget é a da construção de esquemas de assimilação para dar conta de situações.

Por sua vez, a aprendizagem superordenada ocorre quando um subsunçor, que abrange previamente as ideias subordinadas, ancoram conceitos ou proposições potencialmente significativos mais gerais e inclusivos, assimilando-os. Identificam-se, portanto, como instâncias mais específicas de uma nova ideia, denominada superordenada (MOREIRA, 1999). Enquanto na aprendizagem combinatória, uma terceira categoria de aprendizagem significativa, não ocorre a relação de assimilação entre a nova proposição e um subsunçor específico. Nesse caso, a nova informação é potencialmente significativa porque é relacionável à estrutura cognitiva por ser relevante de uma maneira geral e não por conceitos específicos. Apresentamos no Quadro 1, um exemplo de cada forma de AS do Dogma Central da Biologia Molecular.

Quadro 1 - Exemplo das formas de aprendizagem significativa em Biologia Molecular

Formas	Como ocorre	Exemplo
Subordinada	A nova informação é ancorada ao conceito subsunçor do aprendiz.	Subsunçor: o DNA possui genes e cada gene contém uma informação. Nova informação ancorada: o gene contém a informação para a síntese de uma proteína e cada proteína tem uma função específica no metabolismo.

Superordenada	O aprendiz possui um conhecimento significativo e o novo conhecimento (mais geral e inclusivo) é subordinado a ele e não a um subsunçor.	Conhecimento significativo: o gene codifica a proteína e esta participa do metabolismo. Novo conhecimento subordinado: o Dogma Central da Biologia Molecular envolve a expressão gênica que determina o fenótipo.
Combinatória	O significado é adquirido pela interação com um conhecimento mais amplo que o aprendiz já possui em um determinado campo de conhecimento.	Campo de conhecimento: a radiação ionizante possui energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Novo significado: a radiação ionizante é nociva aos seres vivos porque o DNA é uma molécula que pode ter suas ligações químicas enfraquecidas, podendo causar alterações na sequência de bases nitrogenadas - a mutação gênica.

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Assim, nas aprendizagens superordenada e combinatória, subsunçores estabelecidos na estrutura cognitiva podem ser reconhecidos como relacionados e assim, reorganizam-se, como pontes cognitivas, alterando os seus significados (MOREIRA, 1999).

2.1.4. Condições e processos cognitivos para a Aprendizagem Significativa

Há três condições para a ocorrência da AS, segundo Moreira (2021), uma delas é que o aprendiz tenha os conhecimentos prévios adequados – subsunçores; a outra é que o material a ser aprendido seja potencialmente significativo e a terceira condição, é a predisposição para aprender.

Do ponto de vista instrucional, o principal fator a ser considerado na AS, é a estrutura cognitiva do estudante, ou seja, os seus conhecimentos prévios. Para Moreira o conhecimento prévio:

É “tudo o que o aprendiz já sabe”, é o que está em sua estrutura cognitiva e não necessariamente facilita a aprendizagem significativa de novos conhecimentos, podendo inclusive funcionar como obstáculo epistemológico, impedindo a aprendizagem significativa desses conhecimentos (MOREIRA, 2021, p. 30).

Para Ausubel, é essencial identificar a estrutura cognitiva preexistente no aprendiz para ensiná-lo de acordo, por meio da organização significativa da matéria de ensino. Sendo assim, deve-se estimular o domínio dos conhecimentos prévios adequados, antes de usá-los para dar significado a outros conhecimentos (MOREIRA,

2021). Ausubel também propõe a utilização de instrumentos denominados organizadores prévios, que são materiais introdutórios que podem ser utilizados para estabelecer relação entre o que o aprendiz sabe e aquilo que ele deve aprender. Segundo Masini e Moreira (2017), os organizadores prévios facilitam a aprendizagem ao funcionarem como pontes que relacionam o novo conhecimento com os subsunçores.

Uma vez identificados os subsunçores adequados, será possível utilizar materiais instrucionais potencialmente significativos. Para Moreira (1999; 2021), são materiais que estabelecem relações com a estrutura cognitiva do aprendiz de forma não arbitrária e não literal, ou seja, devem fazer sentido, ter um significado lógico. Os materiais potencialmente significativos devem ser bem organizados e estruturados, conforme a estrutura cognitiva do aprendiz, para que tenham significado psicológico para ele (MOREIRA, 2021).

E a predisposição para aprender, é uma condição que vai além da motivação, é uma condição de interesse em relacionar o material potencialmente significativo de modo substantivo e não-arbitrário (MOREIRA, 1999; 2021). Ocorre quando o aprendiz se identifica com a matéria de ensino.

Tendo em vista as condições para a AS, a matéria de ensino deve ser organizada visando de forma direta a diferenciação progressiva, um dos princípios facilitadores da AS. Segundo Moreira (2021), a diferenciação progressiva trata da modificação que ocorre quando há a incorporação significativa entre os novos conhecimentos à estrutura cognitiva do aprendiz. Para que ocorra a diferenciação progressiva, a matéria de ensino deve ser apresentada a partir das ideias mais gerais e inclusivas e progressivamente diferenciadas quando aos aspectos mais específicos (MOREIRA; MASINI, 1982). Nesse processo, obtém-se um produto interacional que é dissociável, composto pela nova informação potencialmente significativa e o subsunçor. Para Moreira (1999), o conhecimento adquirido dessa forma ainda está sujeito à influência reducionista da estrutura cognitiva que é reter apenas ideias, conceitos e proposições mais gerais do que as novas ideias assimiladas, a partir daí, começa um próximo estágio que é o da assimilação obliteradora. Este estágio ocorre, de forma espontânea e progressiva até que o grau de dissociabilidade entre a nova informação potencialmente significativa e o subsunçor seja nulo, tendo como consequência a modificação do subsunçor (MOREIRA, 1999).

Em se tratando de reconciliação integrativa ou integradora, mais um dos princípios facilitadores da AS, consiste em estabelecer relações que devem, além de diferenciar, integrar e reconciliar conhecimentos na estrutura cognitiva. Quando se explora explicitamente essas relações, no material instrucional, chamando a atenção para semelhanças e diferenças e reconciliando inconsistências reais e aparentes, resultam-se em conceitos mais abrangentes do que aqueles que se relacionaram anteriormente (MOREIRA, 1999, 2021; MASINI; MOREIRA, 2017).

Além dos princípios facilitadores, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, têm-se ainda a organização sequencial e a consolidação (MASINI; MOREIRA, 2017). A organização sequencial consiste em sequenciar tópicos ou unidades de ensino, respeitando ambos princípios já mencionados, relacionando-os e estabelecendo a dependência existente entre si na matéria de ensino (MASINI; MOREIRA, 2017). Enquanto a consolidação, leva a insistir no domínio do assunto antes de introduzir novos conhecimentos, visto que o conhecimento prévio é a variável de maior influência na AS (MASINI; MOREIRA, 2017).

2.2. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

Como estratégia didática, a UEPS é uma opção ao docente que deseja proporcionar ao estudante a AS. Um grande desafio quando se objetiva a AS em sala de aula, é o de formular um procedimento didático adequado, e uma maneira de realizar essa tarefa é produzindo uma UEPS (FERREIRA *et al.*, 2020).

A UEPS é uma proposta de Moreira (2011), que a define como uma sequência de ensino, não mecânica, de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental com o objetivo de facilitar a AS. Fundamentada nas teorias educacionais de Novak e Gowin, na teoria interacionista de Vygotsky, além de outras teorias de aprendizagem do século XX, a UEPS tem como principal marco teórico a TAS de Ausubel (TORGAN, 2019).

Alguns dos princípios da UEPS que encontram respaldo na TAS são: o conhecimento prévio e a predisposição para aprender, como condições para a AS e ainda que devem ser considerados os processos cognitivos da diferenciação progressiva, da reconciliação integrativa e da consolidação na organização do ensino.

Para a construção da UEPS, Moreira (2011) considera também outros princípios, que se destacam no marco teórico e que estão aqui resumidas: considerar

a integração entre pensamentos, sentimentos e ações que ocorrem no aprendiz como um fator positivo; que os organizadores prévios relacionam conhecimentos novos aos subsunçores; que as situações-problema dão sentido a novos conhecimentos, despertam a intencionalidade do aprendiz, podem funcionar como organizadores prévios e devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; que frente a uma nova situação deve-se construir um modelo mental funcional análogo a ela; que a avaliação da AS deve ser realizada por meio de buscas de evidências; que o professor é o provedor das situações-problema, organizador do ensino e mediador na captação de significados pelo aluno, sendo a interação social e a linguagem fundamentais nesse processo; que um episódio de ensino envolve uma relação entre aluno, docente e materiais educativos potencialmente significativos e que a aprendizagem deve ser significativa, estimulada pelo questionamento, pela diversidade de materiais, estratégias instrucionais e pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno.

Destarte, a construção de uma UEPS, deve considerar a filosofia “só há ensino quando há aprendizagem e esta deve ser significativa; ensino é o meio, aprendizagem significativa é o fim; materiais de ensino que busquem essa aprendizagem devem ser potencialmente significativos” (MOREIRA, 2011, p. 2). Sendo que a característica principal da UEPS, é superar o ensino mecânico que não possua uma articulação significativa entre a estrutura cognitiva e o material de aprendizagem pretendido em sala de aula (TORGAN, 2019).

Moreira (2011), apresenta aspectos sequenciais da UEPS, uma sequência em oito passos, que disponibilizamos em forma de quadro para melhor visualização (Quadro 2).

Quadro 2 - Sequência em oito passos da UEPS

<p>1º Passo - Situação inicial Definir o tópico a ser abordado e identificar seus aspectos declarativos e procedimentais, tais como são aceitos no contexto da matéria de ensino.</p>
<p>2º Passo - Situações-problema iniciais Criar/propor situações que levem o aluno a externalizar seu conhecimento prévio.</p>
<p>3º Passo – Revisão Propor situações-problema, em nível bem introdutório, que podem funcionar como organizadores prévios.</p>
<p>4º Passo - Nova situação-problema Apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, ou seja, abordagem dos aspectos mais gerais para os mais específicos.</p>

<p>5º Passo - Avaliação somativa individual Retomar os aspectos mais gerais do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação, porém, em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação, ou seja, promover a reconciliação integrativa.</p>
<p>6º Passo - Aula expositiva dialogada integrativa final Retomar as características mais relevantes do conteúdo como seguimento da diferenciação progressiva, porém, de uma perspectiva integrativa, com nova apresentação dos significados.</p>
<p>7º Passo - Avaliação da aprendizagem na UEPS Aplicar a avaliação somativa individual, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados.</p>
<p>8º Passo - Avaliação da própria UEPS Realizar a avaliação da UEPS considerando o desempenho dos alunos, será considerada exitosa se fornecer evidências da AS.</p>

Fonte: Moreira (2011, p. 45).

Como supracitado, são oito passos que conduzem a proposta de ensino, no entanto, o docente tem liberdade de alterar alguns deles. Baggio (2019), assevera que a sequência é uma sugestão para o professor e que pode ser replanejada ante e durante a sua aplicação, de acordo com as realidades de cada turma e do ambiente escolar. Para Cavalcanti (2016), os passos da UEPS não serem tão rígidos, facilitou o seu emprego como subsídio no ensino de Física, Química e Biologia. A sequência em passos pode sofrer adaptações, “contudo, é importante que o professor tenha consciência das razões de se fazer dessa maneira, de como ocorrem de forma mais clara os processos de relacionabilidade” (RONCH, 2016, p. 105). Embora, o professor tenha autonomia em deixar de seguir algum passo, não pode deixar de buscar evidências da AS (BAGGIO, 2019).

2.3. OS MAPAS CONCEITUAIS COMO AVALIAÇÃO FORMATIVA

Os organizadores gráficos desenvolvidos por Joseph Novak na década de 1970, são denominados Mapas Conceituais (MC) e podem ser úteis como recursos didáticos formativos e/ou avaliativos. Os MC devem conter conceitos, que podem estar em destaque por uma forma geométrica qualquer – círculos, retângulos e outras, assim como possuir linhas ou setas com palavras ou frases de ligação que estabeleçam proposições válidas. As definições de conceito e proposição são esclarecidas por Novak e Cañas (2010, p. 10), como:

Uma regularidade percebida em eventos ou objetos, designada por um rótulo. Na maioria dos conceitos, o rótulo é uma palavra, embora algumas vezes usemos símbolos como + ou %, e em outras usemos mais de uma palavra. Proposições são enunciações sobre algum objeto ou evento no universo, seja ele natural ou artificial. Elas contêm dois ou mais conceitos conectados por palavras de ligação ou frases para compor uma afirmação com sentido.

Como recurso formativo, os MC podem ser utilizados porque o estudante constrói relações entre os conceitos, ele interage com o novo conhecimento e também com o professor que media processo formativo, levando o estudante a repensar as possibilidades de relações, inclusive, com conceitos subsunçores, isto é, possibilita a negociação de significados. Nesse sentido, os MC estão embasados na visão epistemológica da TAS, o que justifica o uso desse recurso em sala de aula para representar os modelos mentais dos estudantes (AGUIAR; CORREIA, 2013).

Para que os MC sejam utilizados como ferramenta avaliativa da AS, deve-se estabelecer uma quebra de paradigma em torno do que se espera do aluno na avaliação. Quando a avaliação investiga respostas certas ou erradas, o conhecimento demonstrado pode ter sido memorizado mecanicamente e transferido para a prova ou para o MC, dessa forma, exigir que o aluno elabore um MC predeterminado, não avalia AS (MOREIRA, 2010). Destarte, na avaliação por meio de MC, é necessário investigar se o estudante foi capaz de estabelecer proposições significativas. É necessário, portanto, que os MC sejam compreendidos numa perspectiva teórica clara e com metas previamente estabelecidas (SOUZA; BORUCHOVITCH, 2010).

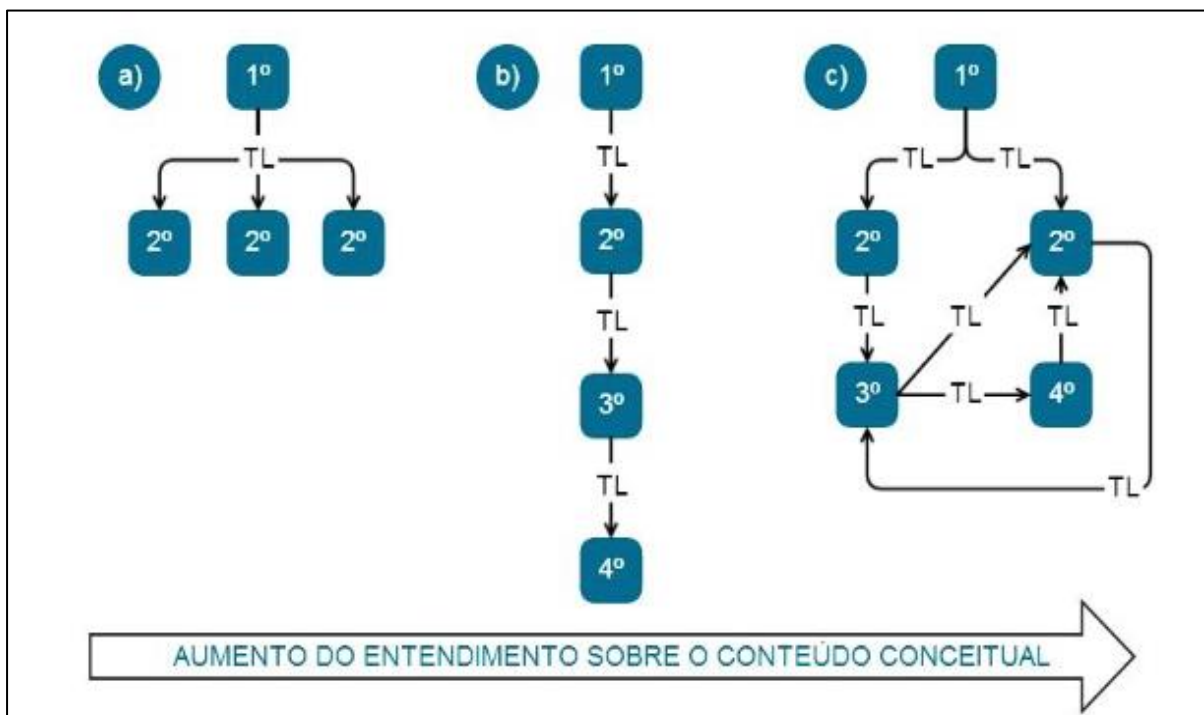
Para caracterizar bons MC, Aguiar e Correia (2013), desenvolveram quatro parâmetros de referência, que são: clareza semântica das proposições, pergunta focal, organização hierárquica dos conceitos e revisões contínuas, que são descritas a seguir conforme esses autores.

No parâmetro de referência clareza semântica, os autores explicam a necessidade de escolher as palavras ou frases de ligação para que a mensagem seja expressa completamente e adequadamente. Por exemplo, não usar o tempo verbal correto e indicar a direção da seta invertida, interferem na compreensão da proposição (AGUIAR; CORREIA, 2013). A pergunta focal é outro parâmetro, que serve para delimitar o tema para a elaboração de MC, nesse caso, é preciso declarar uma questão para ser respondida por meio de proposições no Mapa, porque um mesmo tema pode ter várias abordagens (AGUIAR; CORREIA, 2013).

O terceiro parâmetro de referência, consiste na organização hierárquica dos conhecimentos, que se releva pela diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (AGUIAR; CORREIA, 2013). Assim, o tema dos MC deve ser abordado dos conceitos mais gerais para os menos inclusivos e progressivamente aumentar o nível de detalhamento do assunto em questão – indicando a diferenciação progressiva, que nos MC são representadas por ligações verticalizadas. Além disso, os conceitos aparentemente díspares, quando são relacionados, culminam em MC com ligações horizontais – indicando reconciliação integrativa. Os MC com ligações horizontais, são classificadas por Aguiar e Correia (2013), como MC rede, “somente alunos que aprendem um tema de forma significativa são capazes de produzir um Mapa Conceitual “rede” [...]” (AGUIAR; CORREIA, 2013, p. 147).

Os MC são classificados em radial, linear e rede, podendo ser visualizados na Figura 6. O Mapa radial, é elaborado contendo um único conceito que é ligado com todos os outros e o Mapa linear, envolve mais avanço na aprendizagem que o radial porque envolve um encadeamento sequencial dos conceitos (AGUIAR; CORREIA, 2013). Contudo, os MC radiais e lineares “[...] são persistentes durante o processo educativo dos alunos que optaram pela aprendizagem mecânica” (AGUIAR; CORREIA, 2013, p. 147).

Figura 6 - Estruturas típicas dos Mapas Conceituais: a) radial, b) linear e c) rede



Fonte: Aguiar e Correia (2013, p. 147).

O último parâmetro de referência, revisões contínuas, converge com a TAS por seu caráter processual de elaboração e reelaboração contínua dos conceitos e proposições, na estrutura cognitiva. Essas revisões devem ser consideradas nos MC, porque o aprendizado é permanente e gera alterações nas relações conceituais, culminando em novos MC, “é importante saber que um mapa conceitual nunca está finalizado. Uma vez concluído o mapa preliminar, é sempre necessário revisá-lo” (NOVAK; CAÑAS, 2010, p. 16).

Assim, essas revisões permanentes nos MC, “aproximam os alunos de uma reflexão metacognitiva, visto que eles podem se tornar conscientes dos seus acertos, erros e estratégias que proporcionaram tais resultados de aprendizagem (AGUIAR; CORREIA, 2013, p. 149). Para Novak e Canãs (2010), está provado que a elaboração de MC auxilia na aprendizagem dos alunos e na avaliação do aprendizado pelos professores, provavelmente nas próximas décadas haverá um aumento considerável no uso de MC pela educação formal.

A elaboração de bons MC, portanto, explicita o estágio da aprendizagem do estudante, como se fosse uma radiografia da estrutura cognitiva do aprendiz, revelando ao professor possibilidades de novos encaminhamentos, configurando assim, os MC como um recurso de avaliação formativa (TAVARES, 2007).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção é destinada à descrição dos procedimentos metodológicos que foram adotados nesta pesquisa como, o espaço de pesquisa, a especificidades dos sujeitos, a sua natureza investigativa, encaminhamentos para constituição e análise dos dados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESPAÇO (ESCOLAR) DE PESQUISA

A pesquisa realizou-se no Colégio Estadual Enira Moraes Ribeiro – Ensino Fundamental, Médio e Profissionalizante (EFMP), localizado no bairro Jardim Iguazu no município de Paranavaí-Paraná.

No ano de 2021, a escola possuía 389 alunos matriculados e 39 professores habilitados nas disciplinas de atuação, sendo que a maioria deles tinham curso de especialização, tais professores estavam distribuídos na equipe administrativa e docente. A instituição ofereceu, no ano de 2022, o ensino fundamental a partir do 6º ano em tempo integral e o ensino médio regular e profissionalizante.

A instituição foi fundada em 1962, tendo a denominação de Grupo Escolar Santos Dumont, posteriormente recebeu a denominação de Grupo Escolar Enira Moraes Ribeiro, em homenagem à professora Enira, primeira professora normalista a lutar pela instrução pública. Além das inúmeras alterações na sua denominação, o colégio também sofreu alterações na oferta de cursos e modalidades e passa a ter a denominação atual a partir da Resolução nº 1263 de 07/04/2006 que credenciou o colégio para a oferta de cursos de Educação Profissional.

No ano de 2021, o colégio possuía 10 salas de aula, 6 salas de administração, cozinha, cantina, sala dos professores, banheiros, laboratório de ciências, biblioteca, laboratório de informática e ginásio de esportes. Os equipamentos disponíveis na escola são: 06 aparelhos de multimídia; 12 televisores; 01 aparelho de DVDs; 10 computadores para uso administrativo, 23 *netbooks* disponíveis para os alunos no laboratório de informática, 06 impressoras multifuncionais; 01 máquina fotográfica; 01 filmadora, 01 tela projeção multimídia; 01 lousa digital; 01 caixa acústica amplificadora e, no ano de 2022, recebeu 10 *kits Educatron*, cada um deles permanece na sala de aula para o uso do professor, sendo composto por *smart TV* de 43 polegadas, computador, *webcam*, microfones, teclado com *mouse pad* e pedestal regulável.

Dados coletados em 2021, apresentados no Projeto Político Pedagógico (PPP) do colégio, apontaram que a renda familiar da maioria dos estudantes era de até dois salários mínimos mensais; de dois a quatro, abrangia aproximadamente, um quarto das famílias dos estudantes; mais de quatro salários era a renda para um número mínimo de famílias; alguns dos alunos não souberam informar a renda familiar, de acordo com o PPP do colégio. O salário mínimo do Brasil, no ano de 2021, equivalia a 194,67 dólares americanos.

De acordo com o PPP de 2021, a maioria dos pais dos estudantes do colégio Enira almejavam uma educação de qualidade para os filhos, enquanto os estudantes, na sua maioria, esperavam que a escolaridade lhes permitisse conseguir um emprego e a continuar os estudos. Poucos não apresentavam expectativas em relação à escola, frequentavam porque eram obrigados pelos pais ou pela Justiça. Os dados obtidos em 2021 apontaram que o corpo discente do colégio possui uma família minimamente estruturada, com condições socioeconômicas razoáveis.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS DE PESQUISA

Os sujeitos participantes da pesquisa foram os estudantes regularmente matriculados no colégio, na turma única da 1ª série do NEM denominada 1ª série A, no ano de 2022. A turma continha 36 alunos, porém como nem todos participaram de todas as aulas da UEPS implementada, consideramos na análise 30 estudantes, que participaram em todas as atividades propostas nesta dissertação. Esses estudantes possuíam entre 15 e 17 anos de idade e eram todos alunos oriundos dos bairros próximos ao colégio, sendo: Jardim Ipê, Jardim Monte Cristo, Conjunto residencial Flávio Ettore Giovine e Jardim Santos Dumont. Esses bairros encontram-se afastados, em média, 3 km do colégio e 4 km do centro de Paranavaí. A maioria dos alunos dos bairros mais distantes do colégio deslocavam-se de ônibus escolar.

As aulas regulares da turma ocorreram no período matutino e cinco alunos da turma trabalhavam no contraturno escolar. A maioria dos estudantes da turma pretendia cursar o ensino superior, exceto dois estudantes que afirmaram que não tinham a intenção de ingressarem, nem mesmo em um curso profissionalizante.

3.3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Diante do problema apresentado pela presente pesquisa, consideramos a abordagem metodológica qualitativa de caráter exploratório, como sendo a mais adequada para a coleta e tratamento dos dados levantados. A pesquisa qualitativa, segundo Chizzotti (2000), pretende interpretar o evento a partir dos significados que as pessoas atribuem, para ele:

O conhecimento não se reduz a um rol de dados isolados, conectados por uma teoria explicativa; o sujeito-observador é parte integrante do processo de conhecimento e interpreta os fenômenos, atribuindo-lhes um significado. O objetivo não é um dado inerte e neutro; está possuído de significados e relações que sujeitos concretos criam em suas ações (CHIZZOTTI, 2000, p. 79).

Além disso, na pesquisa qualitativa, o pesquisador deve estar em contato com um determinado problema em um trabalho de campo intensivo a fim de investigar como ele se manifesta nas interações cotidianas (LUDKE; ANDRÉ, 2013). Enquanto uma pesquisa exploratória segundo Gil (2002), pretende uma maior familiaridade com o problema, em um aprimoramento de ideias ou em uma descoberta de intuições.

Quanto aos procedimentos técnicos a serem realizados, a pesquisa enquadra-se em um estudo de caso. Yim (2001), descreve o estudo de caso como um método abrangente que incorpora abordagens específicas à coleta e análise de dados. Gil (2002, p. 54), afirma que o estudo de caso “consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento [...]”.

Como instrumentos de coletas de dados, utilizamos dois questionários, um questionário pré-teste com seis questões abertas (Apêndice A) e um questionário pós-teste com quatro questões abertas (Apêndice H). Além disso, utilizamos dois MC, que foram elaborados pelos estudantes, em grupo, sendo um MCA e um MCB. Também foram realizadas gravações em áudio das apresentações orais dos MC realizadas pelos alunos e anotações das observações *in loco*, em um diário de campo ao final de cada aula.

O questionário pré-teste, foi elaborado com a finalidade de levantar dados sobre os subsunçores dos estudantes, referentes ao papel do DNA, à relação entre o gene e o DNA, à relação entre o gene e a proteína, às funções da proteína, à mutação gênica e ao metabolismo. As respostas desse questionário foram categorizadas de

acordo com dois critérios, sendo adequada/parcialmente adequada e inadequada/não respondida. Nas conceituações correlacionadas à categoria adequada/parcialmente adequada, evidenciamos a presença de subsunçores eficazes na ancoragem da nova informação ou de algum conhecimento específico que ainda necessita de reestruturação. Em relação à categoria inadequada/não respondida, identificamos as respostas com a ausência de subsunçores, expressos em ideias equivocadas e por respostas deixadas em branco ou declaradas como: “não sei”, “nunca ouvi falar” e “talvez”.

Já o questionário pós-teste foi elaborado com a finalidade de evidenciar as categorias de AS, sendo: capacidade de explicar, captar significados, diferenciar progressivamente e aplicar os conhecimentos. Assim, cada questão do questionário pós-teste representou uma dessas categorias *a priori*.

Os MC, foram utilizados como recurso avaliativo formativo, com o intuito de averiguar relações significativas entre os conceitos e estabelecer uma comparação entre os MCAs e o MCBs, na busca por evidências de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

Todas as aulas implementadas, foram observadas pela pesquisadora e as impressões dos resultados de cada atividade anotadas no diário de campo, o uso dessas anotações se justifica porque “os diários se prestam como instrumento de memória que permite reler e avaliar a evolução de certo(s) tema(s)” (HALMANN, 2007, p. 167).

O resumo do método de análise dos resultados utilizados nesta pesquisa é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Resumo do Método de Análise dos Resultados (continua)

Objetivos da análise dos resultados	Instrumentos de coleta de dados	Análise dos resultados
Levantar os conhecimentos prévios	Questionário pré-teste	As respostas ao questionário pré-teste foram categorizadas de acordo com o critério resposta adequada/parcialmente adequada à temática e respostas inadequadas/não respondidas.
Identificar contribuições e dificuldades em cada etapa da sequência didática	Diário de campo	As anotações realizadas pela pesquisadora no diário de campo, foram lidas, buscando contribuições, variáveis e dificuldades de cada etapa.

Quadro 3 - Resumo do Método de Análise dos Resultados (conclusão)

Verificar a evolução conceitual	MCA MCB	A análise comparou o número de relações significativas e a hierarquização entre o MCA e MCB de cada grupo.
Identificar evidências da AS	MCB Gravações em áudio Questionário pós-teste	A análise do MCB e da explicação oral do Mapa de cada grupo investigou relações significativas entre os conceitos e ligações verticais e horizontais representando diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, respectivamente. O questionário pós-teste foi analisado buscando a adequação nas categorias definidas <i>a priori</i> , sendo cada categoria representada por uma questão.

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

A análise dos resultados ocorreu conforme a análise de conteúdo de Bardin (2016, p. 48), que consiste em:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) dessas mensagens.

O método da organização da análise de conteúdo, consiste em três etapas ordenadamente: a pré-análise, a exploração do material e o tratamento dos resultados obtidos e interpretação. Para Bardin (2016), durante a pré-análise, organiza-se os materiais para averiguar se ainda faltam dados a serem coletados; na etapa de exploração do material, deve ser realizada a codificação, categorização e a enumeração do material e na etapa de tratamento dos resultados obtidos e interpretação pode-se realizar a organização por inferência, que é “uma operação lógica, pela qual se admite uma proposição em virtude da sua ligação com outras proposições já aceitas como verdadeiras” (BARDIN, 2016, p. 50).

3.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

No primeiro momento foi realizada uma fundamentação teórica sobre o NEM no contexto brasileiro, a área de CNT, o ensino do Dogma Central da Biologia Molecular, buscando-se suporte principalmente na legislação educacional brasileira contemporânea, como na BNCC, LDB/96 e os PCN. Esta pesquisa fundamentou-se

também, na TAS no contexto do ensino de Biologia, assim como na UEPS e nos MC, amparada nos autores David P. Ausubel, Joseph D. Novak, Helen Hanesian, Marco A. Moreira, Elcie A. F. S. Masini, e outros.

Com o devido aporte teórico, elaboramos uma UEPS com o intuito de implementá-la para o ensino médio de um colégio estadual. O assunto escolhido para elaboração das UEPS foi o Dogma Central da Biologia Molecular. Esse tema foi escolhido, pela justificativa de ser um tema com grandes dificuldades de ensino-aprendizagem. Após a escolha do tema, elencou-se os principais conceitos a serem abordados e os objetivos a serem alcançados (1º passo da UEPS).

A partir disso, a UEPS foi elaborada, por meio de um estudo minucioso das atividades que deveriam constar na sequência didática, tais como: atividades de modelagem em grupo, utilização de simulador virtual da expressão gênica, textos base para a discussão em grupo, questões para discussão, elaboração de MC, questionários, sendo um pré-teste para levantar conhecimentos prévios e um questionário pós-teste que foi aplicado como avaliação somativa individual, como previsto na UEPS. A elaboração da UEPS ocorreu tendo em vista possíveis alterações, após o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes.

A professora pesquisadora, também é a professora regente do componente curricular Biologia desta turma. O Quadro 4 apresenta os horários das aulas de Biologia da turma da 1ª série A, que ocorrem no turno matutino.

Quadro 4 - Horário das Aulas Semanais de Biologia na 1º série A

Dia da semana	Horário das aulas	Série
Quinta-feira	07h30 – 08h20	
	08h20 – 09h10	
	09h10 – 10h00	1º A
	10h15 – 11h05	
	11h05 – 11h55	
	11h55 – 12h45	1º A

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

A implementação da UEPS com os estudantes teve início no dia 04 de agosto e término no dia 15 de setembro de 2022, sempre nas quintas-feiras, totalizando 12 aulas. Os estudantes da turma tiveram seus nomes substituídos por códigos, da seguinte forma: Ax, sendo o A = aluno e o x= números de 1 a 36. Ao considerarmos,

somente os estudantes que participaram de todas as aulas da UEPS, retiramos os estudantes A1, A12, A17, A21, A26 e A32, da amostra inicial.

3.5 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DIDÁTICO

Como indicado no 1º Passo da UEPS, realizamos a escolha do tema que foi: o Dogma Central da Biologia Molecular e definimos os objetivos a serem alcançados, sendo o objetivo geral: facilitar a aquisição de significados sobre o Dogma Central da Biologia Molecular como um mecanismo que permeia a expressão gênica, para valorização e posicionamento nos avanços do conhecimento biológico.

Como objetivos específicos da sequência didática, definimos: conceituar o processo de síntese de proteínas (do gene à proteína); reconhecer o papel do RNA mensageiro, RNA transportador e do RNA ribossômico na síntese de proteínas; entender como alterações da expressão gênica podem estar relacionadas com diversos mecanismos de doença, como as doenças metabólicas hereditárias; entender que o código genético é degenerado e reconhecer a importância do teste do pezinho.

Para atender por completo o 1º Passo e alcançar os objetivos propostos para a UEPS, decidimos abordar os seguintes conceitos específicos: RNA (mensageiro, transportador e ribossômico), transcrição e tradução gênica, *splicing* alternativo, mutação gênica, código genético degenerado, síntese proteica, trinca, códon, anticódon, ribossomos, sítios P e A do ribossomo, doença falciforme e teste do pezinho.

A partir das definições propostas no 1º Passo, elaboramos a sequência didática com o intuito de favorecer a construção de novos conhecimentos, o compartilhamento de significados e manipulação de conceitos dos estudantes, visando possíveis alterações que poderiam ocorrer após o 2º Passo. A UEPS precisou ser reelaborada, após detectarmos a ausência de alguns conhecimentos prévios importantes. Implementamos, portanto, a UEPS que é apresentada no Quadro 5, que respeitou os oito passos propostos por Moreira (2011) e totalizou 12 aulas de 50 minutos.

Quadro 5 - UEPS sobre o Dogma Central da Biologia Molecular

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA – UEPS				
Tema:		O Dogma Central da Biologia Molecular		
Autora:		Viviane Fernandes Mendonça		
Data:		Agosto / setembro de 2022		
Instituição de Ensino:		Colégio Estadual Enira Moraes Ribeiro - UFMP		
Município:		Paranavaí		
Série/Etapa:		1ª Série do Ensino Médio Regular		
Duração:		12 h/a		
Número de participantes:		30 alunos		
Passos da UEPS	Aporte teórico	Etapa didática	Aula	Procedimento
1	Escolha do tema e dos objetivos			
2	Conhecimento prévio	Situações-problema	1	<ul style="list-style-type: none"> •Exibição de vídeo sobre a doença falciforme (11'01") e discussão; •Questionário pré-teste.
3	Organizadores prévios	Situações - problema em nível introdutório	2 e 3	<ul style="list-style-type: none"> •Leitura e discussão dos textos sobre aminoácidos e doenças metabólicas hereditárias; •Vídeo: o que é gene? (4'39") e discussão; •Elaboração dos MCAs.
4	Diferenciação progressiva	Nova situação-problema	4 e 5	<ul style="list-style-type: none"> •Aula expositiva dialogada sobre a expressão gênica (transcrição e tradução: do núcleo ao ribossomo); •Simulação virtual da expressão gênica e discussão.
5	Reconciliação integradora	Retomada dos conceitos em nível mais alto de complexidade	6, 7 e 8	<ul style="list-style-type: none"> •Aula expositiva dialogada sobre o código genético (conceitos de trinca, códon, anticódon, fator de liberação, sítios P e A do ribossomo); •Elaboração de um modelo didático para a transcrição e a tradução gênica (a síntese dos primeiros aminoácidos da cadeia beta-globina) e discussão.
6	Diferenciação progressiva na perspectiva integrativa	Retomada dos aspectos mais relevantes do conteúdo com nova	9 e 10	<ul style="list-style-type: none"> •Problematização a partir da atividade de modelagem da aula anterior; •Leitura e discussão do texto sobre a doença falciforme, agregando a importância da

		apresentação de significados		detecção precoce de doenças como a fenilcetonúria;
				• Resolução de exercícios e correção comentada.
7	Evidências da captação de significados	Avaliação da aprendizagem	11 e 12	• Elaboração dos MCBs • Questionário pós-teste
8	Evidências da AS	Avaliação da UEPS		

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

3.6. A IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O 2º Passo da UEPS foi desenvolvido no dia 04 de agosto de 2022, no local de pesquisa que foi um colégio estadual. Nessa primeira aula da sequência didática, motivamos o estudante a externalizar os seus subsunçores, com a exibição de um vídeo sobre um caso real e recente de anemia falciforme e uma breve discussão sobre o vídeo (Quadro 6). O intuito desse primeiro momento da aula foi despertar o interesse pela temática, trazendo um assunto relacionado ao Dogma Central da Biologia Molecular. Na sequência aplicamos o questionário pré-teste (Apêndice A), que foi respondido pelos estudantes sem consultar nenhum material. O questionário pré-teste foi escolhido como um instrumento para levantar os conhecimentos prévios dos alunos, basicamente investigar o que eles sabiam sobre o DNA, o gene, os aminoácidos e as proteínas.

Quadro 6 - Resumo da primeira aula da UEPS

2º Passo - Situações-problema iniciais Aporte teórico: levantamento do conhecimento prévio
2ºa. Exibição de um vídeo e uma breve discussão. Link do vídeo: https://g1.globo.com/fantastico/noticia/2022/06/12/na-luta-para-salvar-a-filha-de-uma-doenca-grave-casal-reata-apos-separacao.ghtml Questões para a discussão: 1) Quais problemas a pessoa com a doença falciforme pode desenvolver? 2) Por que ocorrem todos esses problemas? 3) Quais as causas da doença falciforme?
2ºb. Aplicação do questionário pré-teste.

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Em seguida, os estudantes responderam às situações-problemas propostas no questionário pré-teste (Apêndice A). Esse questionário constava de categorias previamente estabelecidas conforme os subsunçores necessários para a

implementação da UEPS. Os resultados obtidos nessa aula serão discutidos na Seção 4.

Com base nos resultados do questionário pré-teste, reelaboramos a UEPS, selecionando cuidadosamente os organizadores prévios para serem implementados na aula seguinte. Como consequência, houve a expansão do número de aulas da UEPS.

Assim, na segunda e terceira aula da sequência didática (Quadro 7), utilizamos como recurso os organizadores prévios e o MCA. Como organizadores prévios, utilizamos dois textos (Apêndice B) e um vídeo para impulsionar as discussões pertinentes. Os textos escolhidos como organizadores prévios, mostram as relações entre DNA, gene, proteína, aminoácidos, mutações e doenças hereditárias. Os estudantes foram organizados em grupo, realizaram a leitura dos textos e responderam às questões no material impresso entregue ao grupo. Depois, os alunos compartilharam suas respostas com toda a turma e juntos formulamos as respostas cientificamente aceitas, por meio da oralidade.

Quadro 7 - Resumo da segunda e terceira aula da UEPS

3º Passo - Situação-problema inicial Aporte teórico: uso de organizadores prévios
<p>3ºa. Leitura de dois textos sobre aminoácidos e doenças metabólicas hereditárias e discussão. Questões para a discussão:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Quais as funções das proteínas? 2) Por que todos os seres vivos usam os mesmos 20 aminoácidos? 3) Qual a função do DNA? 4) Quais são as causas das doenças metabólicas hereditárias, como a doença falciforme? <p>3ºb. Vídeo: o que é gene? (4'39") e discussão; <i>Link</i> do vídeo: https://youtu.be/E6DPIgLqdCo Questões para a discussão:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) O que é um gene e qual a sua função? 2) Como as bases nitrogenadas combinam-se no DNA? <p>3ºc. Elaboração dos MCAs.</p>

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Na sequência, houve a exibição de um vídeo seguido de uma breve discussão, conforme consta no Quadro 7 - 3ºb. O vídeo apresentou uma animação tridimensional do DNA, suas bases nitrogenadas, o conceito de gene e de expressão gênica. Os

estudantes permaneceram em grupo e responderam as questões levantadas pela pesquisadora (Quadro 7 - 3ºb), após apresentarem suas respostas, elaboramos em conjunto e oralmente as respostas cientificamente aceitas.

Por fim, solicitamos que os alunos elaborassem os MCAs. Os participantes desta pesquisa haviam experienciado a elaboração de MC, antes do início dessa pesquisa com a professora regente que também é a professora pesquisadora, porém, os MC elaborados anteriormente referiam-se a outras temáticas. Propusemos durante a elaboração dos MCAs, que os estudantes pensassem em conceitos relacionados à síntese de proteínas, que procurassem organizar esses conceitos hierarquicamente nos MCAs. Procuramos por meio dessa mediação, estimular o aluno a pensar porque um conceito é mais abrangente do que outro e como devem ser inseridos nos MC. Essa negociação de significados, para Moreira (2010), “é provavelmente, o aspecto mais rico, para a aprendizagem significativa, da elaboração de mapas conceituais em sala de aula.” Essas duas aulas seguiram o 3º Passo da UEPS e foram ministradas no dia 11 de agosto de 2022.

Os estudantes, realizaram a leitura dos seus MC oralmente, explicando as relações que estabeleceram entre os conceitos e entregaram os Mapas para a professora. A apresentação oral foi gravada em áudio e utilizada para a análise, que consta na Seção 4. Sobre a elaboração dos MC, Moreira (2010, p. 15), explica:

Os dois conceitos mais as palavras-chave formam uma proposição e esta evidencia o significado da relação conceitual. Por esta razão, o uso de palavras-chave sobre as linhas conectando conceitos é importante e deve ser incentivado na confecção de mapas conceituais, mas esse recurso não os torna autoexplicativos. Mapas conceituais devem ser explicados por quem os faz; ao explicá-los, a pessoa externaliza significados. Reside aí o maior valor de um mapa conceitual.

Optamos em utilizar os MC no início e no fim da UEPS, para verificar as alterações nas relações conceituais e buscar evidências da AS. Para Moreira (2010), os MC podem ser utilizados como instrumento de avaliação da aprendizagem, porque a partir deles, obtêm-se uma visualização da organização conceitual que o aprendiz atribui a um dado conhecimento. Esse instrumento permite verificar se o estudante consegue estabelecer as relações aceitas no contexto da matéria de ensino, visto que é “[...] uma técnica não tradicional de avaliação que busca informações sobre os significados e relações significativas entre conceitos-chave da matéria de ensino

segundo o ponto de vista do aluno” (MOREIRA, 2010, p. 17). Os dados obtidos nessa aula são apresentados na Seção 4.

De posse dos resultados obtidos no questionário pré-teste e nos MCAs, seguimos com a implementação da sequência didática, ensinando de acordo com os subsunçores do aluno, a fim de facilitar a AS.

Na quarta e quinta aula da sequência didática (Quadro 8), aprofundamos o conhecimento apresentando os conceitos mais gerais sobre o Dogma Central da Biologia Molecular, com uma aula expositiva dialogada, com o auxílio de *slides* com imagens e animações exibidos na *smart TV* e a utilização de um simulador virtual sobre a expressão gênica. Essas aulas referem-se ao 4º Passo da UEPS e foram aplicadas no dia 18 de agosto de 2022.

Quadro 8 - Resumo da quarta e quinta aula da UEPS

4º Passo - Nova situação-problema Aporte teórico: aprofundamento do conhecimento
4ºa. Aula expositiva dialogada apresentando os conceitos: metabolismo relacionado à síntese proteica, tradução gênica e transcrição gênica, expressão gênica, RNA mensageiro (RNAm), RNA transportador (RNAt) e RNA ribossômico (RNAr), relações entre proteínas, aminoácidos, DNA e genes.
4ºb. Utilização do simulador virtual Phet Colorado sobre a expressão gênica e discussão. Procedimentos e situações-problemas no Apêndice C. <i>Link</i> do simulador virtual: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/gene-expression-essentials

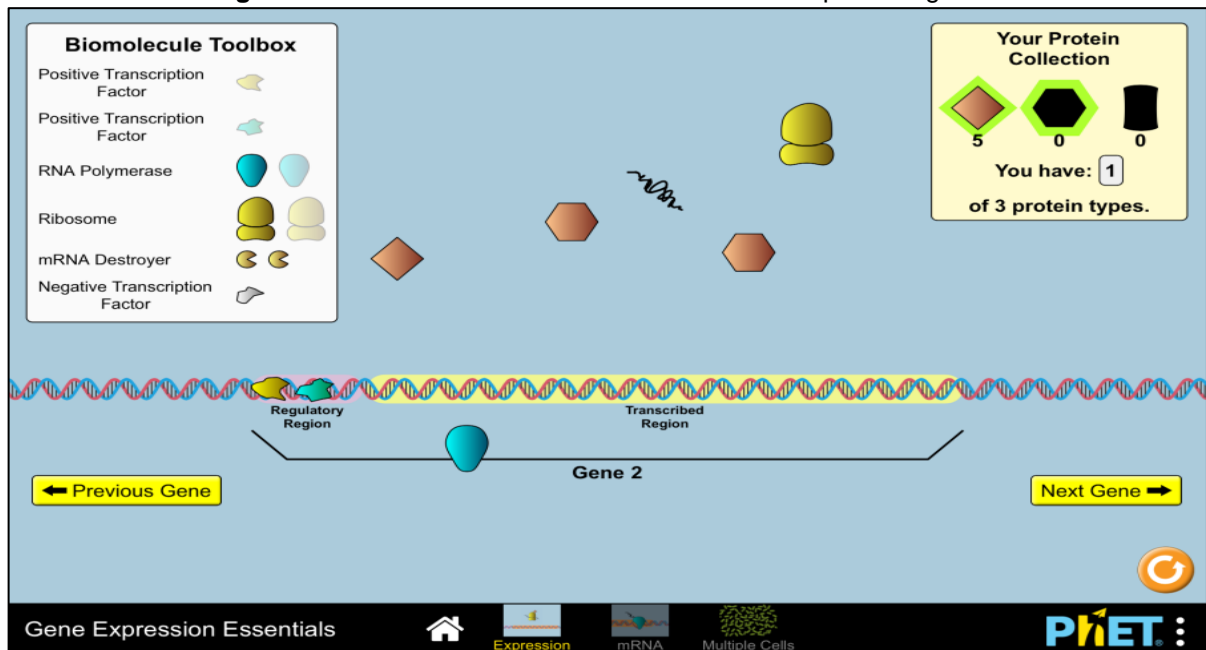
Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Desse modo no 4º Passo, a temática foi apresentada dos conceitos mais gerais para os mais específicos, conforme a proposta da TAS. Assim, iniciamos esclarecendo a importância das proteínas para o organismo, para o metabolismo, recordando que as proteínas são constituídas por aminoácidos e que o processo de síntese ocorre no ribossomo. Explicamos que cada RNAt, carrega um aminoácido específico até o ribossomo, de acordo com a tradução do RNAm. Na sequência, instigamos os alunos a pensarem de onde vem a informação presente no RNAm, para culminar no processo de transcrição no núcleo da célula, relacionando a síntese de proteína ao DNA e ao gene.

Nessa aula, ainda não foram abordados os conceitos: códon, anticódon, *splicing* alternativo e código genético degenerado, devido à complexidade desses conceitos. Seguindo os princípios da UEPS, abordamos os conceitos mais complexos

no 5º Passo. Em seguida os alunos foram instruídos a formarem grupos para acessarem em seus *smartphones* o simulador virtual *Phet* Colorado sobre a expressão gênica (Figura 7).

Figura 7 - Interface do simulador Phet Colorado: expressão gênica



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/gene-expression-essentials, acesso em 31 out. 2022.

Em cada grupo havia ao menos um aluno com *smartphone*. Os alunos receberam as instruções para serem seguidas em uma folha impressa (Apêndice C) e depois tinham que responder as situações-problema propostas, em grupo. Depois, esse simulador da expressão gênica foi exibido na *smart TV* e houve a formulação conjunta das respostas cientificamente aceitas para as situações-problemas respondidas anteriormente.

Com o intuito de promover a reconciliação integrativa, ministramos a sexta e sétima aula no dia 25 de agosto de 2022 e a oitava aula no dia 01 de setembro de 2022, referente ao 5º Passo da UEPS (Quadro 9). Na sexta aula, foram retomados os conceitos abordados no Passo anterior, ampliando o grau de complexidade, por meio de uma aula expositiva dialogada com o auxílio de slides com imagens para apresentar os conceitos: trinca, códon, anticódon, fator de liberação, sítios P e A, subunidade maior e menor do ribossomo e código genético.

Na sétima aula, ministrada no mesmo dia, foi proposta a elaboração de um modelo didático da transcrição gênica. Os estudantes seguiram as instruções contidas no Apêndice D, realizaram a modelagem utilizando um material impresso (Apêndice

D.1). E na oitava aula, na semana seguinte, foi realizada a modelagem da tradução gênica em grupos, utilizando-se materiais impressos em folhas de sulfite (Apêndices D, D.2 e D.3). A modelagem didática realizada na sétima e oitava aula, simulou a síntese dos primeiros aminoácidos da cadeia de beta-globina humana, um dos componentes da HbA.

Quadro 9 - Resumo da sexta, sétima e oitava aula da UEPS

5º Passo - Retomada dos conceitos em nível mais alto de complexidade Aporte teórico: reconciliação integrativa
5ºa. Aula expositiva dialogada com o auxílio de slides com ilustrações. Abordagem dos conceitos: trinca, códon, anticódon, fator de liberação, sítios P e A, subunidade maior e menor do ribossomo e código genético.
5ºb. Elaboração de um modelo didático da transcrição e da tradução gênica e resolução de situações-problema, em grupo.

Fonte: elaborado pela autora, 2022.

Optamos em utilizar o modelo didático, porque na abordagem de uma temática tão abstrata como o Dogma da Biologia Molecular, esse recurso permite aproximações por meio de materiais palpáveis que auxiliem os estudantes na AS. Facilitam a compreensão porque unem a teoria e a prática (CAVALCANTE; SILVA, 2008). E ainda, segundo Duso *et al.* (2013), o uso da modelagem é promissor porque amplia a reflexão, o debate a participação ativa dos discentes no processo de aprendizagem.

A nona e décima aula (Quadro 10) contemplaram o 6º Passo e ocorreram no dia 01 e 08 de setembro, respectivamente. A nona aula iniciou-se com uma problematização (Apêndice E) com base no modelo didático construído na aula anterior. Assim, foi exibida a imagem da cadeia de DNA e de RNAm confeccionada pelos estudantes, com o uso da *smart TV*, para que as situações-problemas fossem resolvidas, em grupo.

Quadro 10 - Resumo da nona e décima aula da UEPS

6º Passo - Retomada das características mais relevantes do conteúdo Aporte teórico: diferenciação progressiva (perspectiva integradora)
6ºa. Problematização com base na construção do modelo didático da síntese da cadeia de beta-globina humana.
6ºb. Leitura coletiva do texto 3 sobre a doença falciforme e questionamentos.
6ºc. Resolução de exercícios sobre o Dogma Central da Biologia Molecular.

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Na décima aula, foi proposta uma leitura coletiva do texto 3 e questionamentos sobre a anemia falciforme (Apêndice F), visando a retomada dos conceitos, considerando uma perspectiva integrativa, com novas apresentações de significados, como: expressão gênica, doenças metabólicas hereditárias e o teste do pezinho. Em seguida foi proposta a resolução de exercícios sobre a temática o Dogma Central da Biologia Molecular (Apêndice G).

O objetivo da décima primeira e décima segunda aula, foi coletar dados para avaliar a aprendizagem. Na décima primeira aula realizada no dia 08 de setembro, os estudantes em grupo, tiveram a oportunidade de observar os MCAs e reelaborá-los, construindo a versão dos MCBs. Realizamos a mediação dessa atividade, instruindo quanto à importância de constar no Mapa apenas os conceitos e relações das quais tivessem conhecimento e estimulando a negociação de significados por meio de questionamentos. Segundo Moreira (2010), a mediação do professor não deve ser no sentido de verificar se os MC estão corretos ou não, mas de possibilitar que os alunos enriqueçam a sua construção e reflitam o seu conhecimento naquele momento. Os alunos explicaram oralmente seus MCBs produzidos, em grupo.

E na décima segunda aula, ministrada no dia 15 de setembro, os estudantes responderam ao questionário pós-teste. O Quadro 11 apresenta um resumo das últimas aulas da UEPS. Os dados coletados nessa última aula, assim como a avaliação da aprendizagem obtida com a implementação da UEPS, são apresentados na Seção 4.

Quadro 11 - Resumo da décima primeira e décima segunda aula da UEPS

7º Passo - Aplicar a avaliação somativa individual Aporte teórico: avaliação da aprendizagem na UEPS
7º a. Reelaboração dos MCBs
7º b. Aplicação do questionário pós-teste (Apêndice H).

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Como oitavo e último passo da sequência didática, buscamos evidências da AS a partir da implementação da UEPS, com a análise dos dados coletados. Contudo, não há um instrumento para a obtenção de evidências da AS. Para Moreira (2010), a dialogicidade no ensino, a avaliação formativa e a avaliação recursiva (permitir que o aluno refaça as atividades propostas) podem contribuir para a obtenção dessas

evidências, uma vez que que a aprendizagem significativa é progressiva, não faz sentido avaliar a aprendizagem apenas com provas finais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Elencamos os resultados da análise realizada, conforme os procedimentos metodológicos descritos na Seção 3. Mostraremos, no primeiro momento as nossas considerações sobre os materiais utilizados na sequência didática, considerados potencialmente significativos. Em seguida apresentaremos os resultados obtidos com os instrumentos de coleta de dados utilizados nesta pesquisa.

4.1. MATERIAIS POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVOS

Na implementação da UEPS, utilizamos diversos materiais a fim de facilitar a AS e fizemos uma análise, a partir das observações e anotações do diário de campo. Tais materiais são ditos potencialmente significativos porque o significado está nas pessoas (MASINI; MOREIRA, 2017). Apresentamos aqui, os resultados obtidos com o uso desses materiais como recurso didático no ensino do Dogma Central da Biologia Molecular, incluindo o uso de tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), “porque têm o potencial de aumentar a predisposição para aprender do aluno” (MASINI; MOREIRA, 2017, p. 43) e as atividades colaborativas presenciais, que são aquelas que envolvem situações-problema que precisam ser resolvidas em pequenos grupos, com a mediação do professor (MASINI; MOREIRA, 2017).

Com os estudantes organizados em grupos, optamos pela leitura e discussão de textos alternativos, porque diferentemente dos textos didáticos, articulam-se com vários conteúdos, possibilitando uma abordagem desfragmentada, propiciando a AS (ASSIS; CARVALHO, 2008). Utilizamos a leitura e a discussão de textos, em grupo, em dois momentos da UEPS, na segunda e na décima aula, tendo finalidades diferentes em cada momento.

Na primeira aula, esse recurso didático (Apêndice B), gerou uma participação ativa dos alunos, contudo, os estudantes demonstraram dificuldade na leitura devido a presença de conceitos que não eram usuais para eles, como doenças metabólicas hereditárias, e até mesmo de conceitos básicos como proteína e aminoácidos, que já foram abordados em unidades de ensino anteriores a esta pesquisa.

Apesar das dificuldades, esse material cumpriu a sua finalidade porque funcionou como um organizador prévio, que associado a outros, apresentou situações-problema em nível introdutório, gerando discussões que levantaram muitas

dúvidas dos estudantes, possibilitando a mediação da pesquisadora e o interesse dos alunos pela temática que era introduzida.

A leitura e discussão da décima aula (Apêndice F), também cumpriu a finalidade pretendida, que era apresentar novos significados para os aspectos mais relevantes do conteúdo. Desse modo, a leitura levantou a discussão sobre a mutação gênica, a partir do exemplo da doença falciforme e a importância da detecção precoce com o teste do pezinho.

Poucos alunos tinham algum conhecimento sobre o teste do pezinho e todos desconheciam a sua finalidade. Assim, essa discussão sustentada pelos textos, retomou aspectos importantes sobre o Dogma Central da Biologia Molecular, inserindo conceitos menos inclusivos, para gerar novos significados, em outros contextos.

Alguns recursos que utilizamos em nossa UEPS, são conhecidos como TDIC, dentre eles, os vídeos e o simulador virtual. Tais recursos permitem simular fenômenos que não são passíveis de serem visualizadas no mundo real, relacionados à área de CNT (VALENTE, 2014).

Os vídeos de curta duração, criteriosamente selecionados, foram exibidos na primeira e na segunda aula da UEPS. Na primeira aula, a exibição da história relatada em vídeo, sobre um caso real de anemia falciforme, gerou interesse e expectativas quanto ao próximo assunto que seria tratado. O propósito dessa atividade foi fornecer um estímulo inicial para levantar os conhecimentos prévios dos estudantes por meio do questionário pré-teste.

O segundo vídeo, foi útil como um dos organizadores prévios, utilizado após a leitura e discussão, da segunda aula. Por se tratar de um vídeo, que apresenta os conceitos básicos da expressão gênica por meio de ilustrações dinâmicas, os alunos permaneceram concentrados e relataram que o vídeo auxiliou no entendimento de alguns conceitos como DNA e bases nitrogenadas.

Tendo em vista, não somente a motivação do estudante, mas a participação dele na busca por solucionar novas situações-problemas, fizemos o uso de um simulador virtual, outra TDIC. O *software* utilizado para simular a expressão gênica tem acesso livre e foi executado diretamente na internet, na quinta aula da UEPS. As atividades propostas com o *link* de acesso para o simulador virtual podem ser encontradas no Apêndice C.

Os modelos didáticos criados pelos *softwares*, têm grande potencial no ensino de síntese de proteínas, porque têm alta capacidade de motivação dos alunos e dos professores, além da interatividade (GREGÓRIO; OLIVEIRA; MATOS, 2016). Consideramos, portanto, o modelo apresentado pelo simulador virtual da expressão gênica, como um material potencialmente significativo, tendo em vista que possibilitou a manipulação de representações dos conceitos como DNA, RNAm, transcrição, tradução, proteína, ribossomos e outros. E essa manipulação é capaz de modificar a estrutura cognitiva, importante etapa da AS.

Como o simulador é bem intuitivo, os estudantes não tiveram dificuldades em realizar a simulação, entendendo a atividade como um jogo, cuja meta era conseguir sintetizar uma proteína por gene e completar a coleção. Em cada grupo, de um a dois estudantes não tiveram o acesso à um *smartphone* próprio no momento da atividade, o que não foi considerado um obstáculo, visto que os alunos do mesmo grupo compartilharam os aparelhos no momento da simulação. E na sequência, houve a simulação da *smart TV*, em que todos também tiveram acesso por meio da visualização. Na discussão, posterior à simulação virtual, houve participação ativa da maioria dos estudantes, na busca por soluções às situações-problemas propostas na atividade.

Quanto à elaboração dos modelos didáticos, proposto na sétima e oitava aula, constatamos que essa atividade apresentou vantagens e desvantagens. Como ponto positivo, modelar em papel sulfite a transcrição e tradução gênica estimulou o engajamento dos estudantes, que participaram ativamente manipulando o material, questionando os procedimentos e solucionando as situações-problemas propostas; outro benefício desse material, é ter baixo custo, necessitando apenas da impressão de imagens no papel sulfite, tesoura, cola e lápis de cor (opcional). A duração de tempo prolongada apresentou-se como uma desvantagem, porque quando se trata de componentes curriculares com poucas aulas semanais, o tempo precisa ser minuciosamente planejado. Além disso, os alunos relataram uma certa dificuldade em manipular o material, por ter peças de encaixe pequenas e com bordas de formatos variados, dificultando o recorte com a tesoura. Entretanto, como a modelagem foi realizada em grupo (Figura 8 e 9), o trabalho colaborativo foi exigido de todos os integrantes, nessa perspectiva, temos mais uma vantagem.

Figura 8 - Modelagem da transcrição gênica



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Figura 9 - Modelagem da tradução gênica



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Os MC também foram utilizados como materiais potencialmente significativos, tendo em vista que, a condução na elaboração dos Mapas pretendeu a construção de relações significativas, sem exigir a presença de conceitos e proposições dos quais os alunos não tivessem conhecimento, evitando que decorassem conceitos e transferissem para os MC. Essa atividade foi proposta em grupo (Figura 10).

Figura 10 - Estudantes em grupo elaborando os Mapas conceituais iniciais



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Os MCAs também foram utilizados como organizadores prévios, porque após lerem dois textos, assistirem ao vídeo e discutirem sobre o assunto de forma introdutória, os estudantes tiveram que transferir para os MCAs as relações que eles conheciam até o momento sobre a síntese de proteínas, possibilitando assim, uma primeira aproximação com o tema da UEPS.

A mesma proposta foi realizada ao final da sequência didática, possibilitando aos alunos, pensarem em uma organização hierárquica e estabelecer proposições válidas, negociando significados. A análise dos resultados obtidos com os MCAs e os MCBs serão discutidos na Subseção 4.3, 4.4 e 4.5.

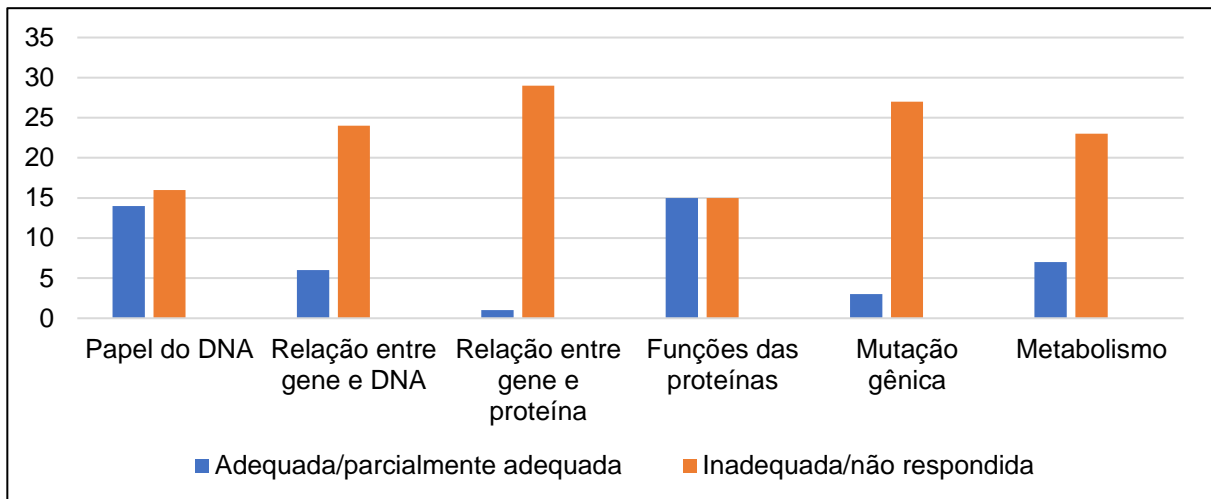
As estratégias e instrumentos utilizados durante as aulas, foram planejadas para facilitar a AS, no entanto, não garantem esse tipo de aprendizagem. Masini e Moreira (2017), reforçam que o uso de materiais didáticos que almejem uma resposta pré-determinada do aluno, pode resultar em aprendizagem mecânica, pois a utilização de tais materiais, não facilitam a AS, se o ensino não ocorrer nessa perspectiva de aprendizagem.

4.2. RESULTADO DO LEVANTAMENTO DO CONHECIMENTO PRÉVIO

Os dados obtidos a partir do questionário pré-teste, indicaram que a maioria dos alunos não tinham o conhecimento prévio das temáticas: o papel do DNA, a relação entre gene e DNA, a relação entre gene e proteína, as funções das proteínas, o conceito de mutação gênica e conceito de metabolismo. Os estudantes que

apresentaram as respostas consideradas adequadas ou parcialmente adequadas, demonstraram um conhecimento superficial, necessitando de aprofundamento teórico, como era esperado para os estudantes da 1ª série do ensino médio. Os resultados do questionário pré-teste estão organizados na Figura 11.

Figura 11 - Categorias de respostas por temática (questionário pré-teste)



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Na temática papel do DNA, 16 respondentes indicaram não ter conhecimento ou não responderam, enquanto 10 deles afirmaram que o papel do DNA era o de transmitir informações genéticas, relacionando o DNA à hereditariedade e somente quatro alunos responderam que o papel do DNA é o de armazenar informações genéticas. Tal resultado aponta que os alunos que apresentaram um conhecimento prévio sobre o DNA, consideram principalmente a hereditariedade do DNA como função, conforme os relatos: “O DNA serve para descobrir a paternidade do bebê” (A2). “Já vi teste de DNA na TV para descobrir quem é o pai” (A19).

Em se tratando do conhecimento sobre a relação entre o gene e o DNA, 24 alunos não souberam ou não responderam, desses, quatro alunos afirmaram que o gene corresponde à célula, resposta que foi categorizada como inadequada. Somente 6 estudantes afirmaram que o gene é o mesmo que DNA, resposta que foi categorizada como parcialmente adequada, pois o gene é um segmento da molécula de DNA que é constituída por muitos genes. Nessa temática, nenhum aluno atingiu a resposta adequada evidenciando, portanto, os alunos não tinham os subsunçores sobre o gene e que deveríamos reorganizar a UEPS, repensando os organizadores prévios.

Quanto à relação entre o gene e a proteína, 29 alunos não responderam ou não souberam responder, apenas um aluno relatou que as proteínas formam os genes. Esse resultado reforça a evidência de que os alunos não têm os subsunçores sobre os genes e a sua função.

Na temática funções das proteínas, 10 respondentes afirmaram que as proteínas compõem a membrana plasmática da célula e cinco alunos responderam que as proteínas servem para o ganho de massa muscular. Essas totalizaram as 15 respostas que foram categorizadas como adequadas/parcialmente adequadas. Os demais alunos, 15, apresentaram respostas inadequadas ou não responderam. Esse resultado mostra, que mesmo entre os estudantes que apresentaram um certo conhecimento sobre a função da proteína, limitaram-se a afirmar apenas uma função, seja estrutural ou nutricional, como pode ser observado nos comentários: “Para que a gente fique musculoso” (A25). “A membrana da célula é formada de proteínas, elas ficam entre as camadas de lipídios” (A8).

Em relação ao conhecimento de mutação gênica, categorizamos somente 3 respostas como adequada/parcialmente adequada, sendo que dessas, 2 relacionaram a mutação às alterações no DNA e 1 aluno relacionou mutação à genética. 27 alunos não souberam responder o que é mutação ou não responderam. A maioria, portanto, apresentou concepções inadequadas, como os relatos a seguir: “É uma alteração que dá no bebê” (A31). “A mutação acontece na fecundação” (A27). “Ela é um problema no sangue, nos glóbulos vermelhos” (A13).

A maioria dos alunos, 23 não responderam ou não souberam explicar o conceito de metabolismo, por sua vez, 7 deles disseram que o metabolismo é o conjunto de reações químicas, sendo esta resposta categorizada como adequada/parcialmente adequada. A seguir temos alguns exemplos de respostas consideradas inadequadas: “O metabolismo é a célula” (A10). “São substâncias” (A14). “São genes” (A6).

Verificamos com essa análise, que os conceitos mais abstratos como os relacionados às estruturas moleculares, foram os conceitos que os alunos apresentaram menos subsunçores, enquanto os conceitos relacionados às funções do DNA e das proteínas, foram conceitos que apresentaram mais equilíbrio entre as categorias adequada/parcialmente adequada e inadequada/não respondida.

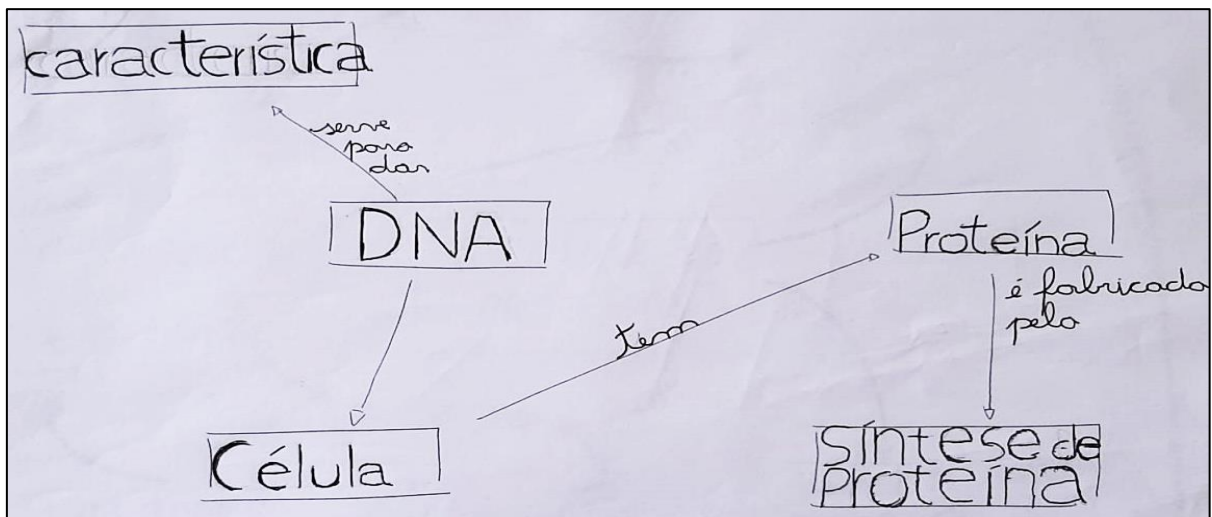
Como o fator isolado mais importante para a AS é conhecer os conhecimentos prévios dos estudantes e ensinar de acordo, utilizamos os resultados do questionário

pré-teste para definir os organizadores prévios que pudessem ser aplicados como pontes cognitivas entre os novos conhecimentos e aqueles existentes na estrutura cognitiva do estudante. Essa análise, forneceu indícios de quais recursos instrucionais utilizar para facilitar que o novo conhecimento seja adquirido com significado.

4.3. ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS INICIAIS

O MCA elaborado pelos estudantes do grupo 1 (Figura 12), demonstra poucos conceitos relativos ao Dogma Central da Biologia Celular, assim como poucas relações entre os conceitos e estabelece relações assertivas entre os conceitos. Porém, ficou evidente durante a apresentação oral do MCA, que para os alunos do grupo 1, os conceitos DNA e característica, não têm significado porque espontaneamente relataram que o DNA serve para dar características, mas que não sabiam como e nem de quais características se trata. Também, não evidenciaram no MCA a relação entre o DNA e a célula.

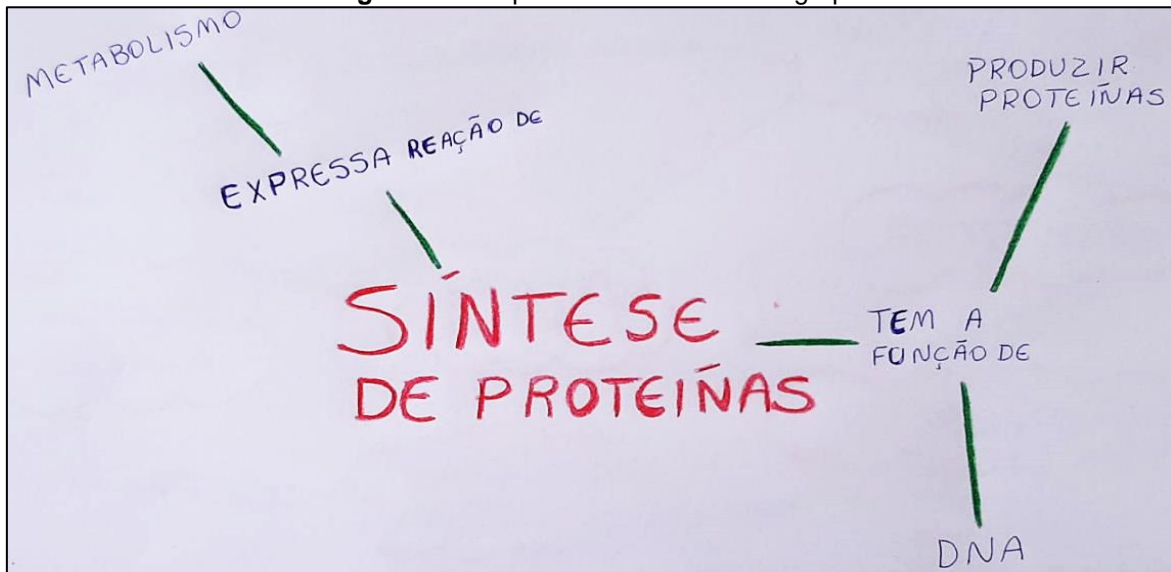
Figura 12 – Mapa Conceitual inicial do grupo 1



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

O MCA elaborado pelos estudantes do grupo 2 (Figura 13), apresenta que o processo de síntese de proteínas ocorre para expressar o metabolismo e para produzir proteínas, porém não estabelece uma relação assertiva entre a síntese de proteínas e a molécula de DNA. De acordo com a apresentação oral do Mapa, os estudantes do grupo 2, não conseguiram entender a relação do DNA com as proteínas e destas com o metabolismo.

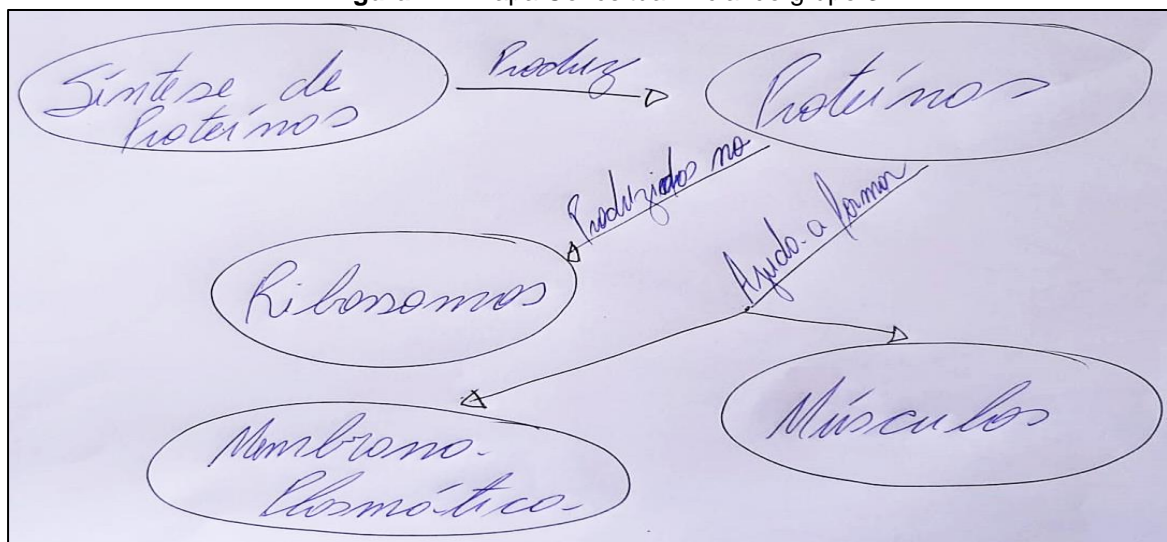
Figura 13 - Mapa Conceitual inicial do grupo 2



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

O MCA dos estudantes do grupo 3 (Figura 14), apresenta conceitos relacionados corretamente, entretanto, não conseguiram relacionar o DNA com os demais conceitos, mesmo durante a apresentação oral. Além disso, citaram apenas uma função das proteínas – a estrutural.

Figura 14 - Mapa Conceitual inicial do grupo 3

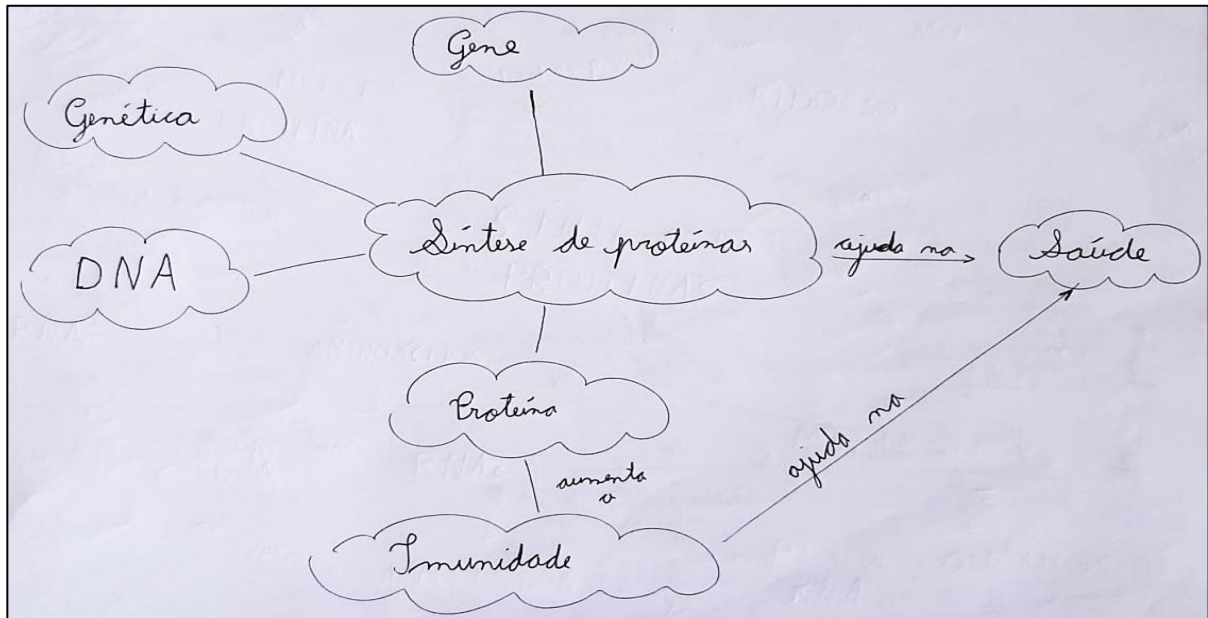


Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Os estudantes do grupo 4, elaboraram o MCA (Figura 15), com uma quantidade de conceitos razoáveis, contudo, esse mapa não explicita as relações existentes entre os conceitos: síntese de proteínas, gene, genética, DNA, proteína. Os estudantes expressaram no mapa e oralmente, entender que as proteínas, produzidas no

processo de síntese de proteínas, tem um papel importante na imunidade e que isso beneficia a saúde.

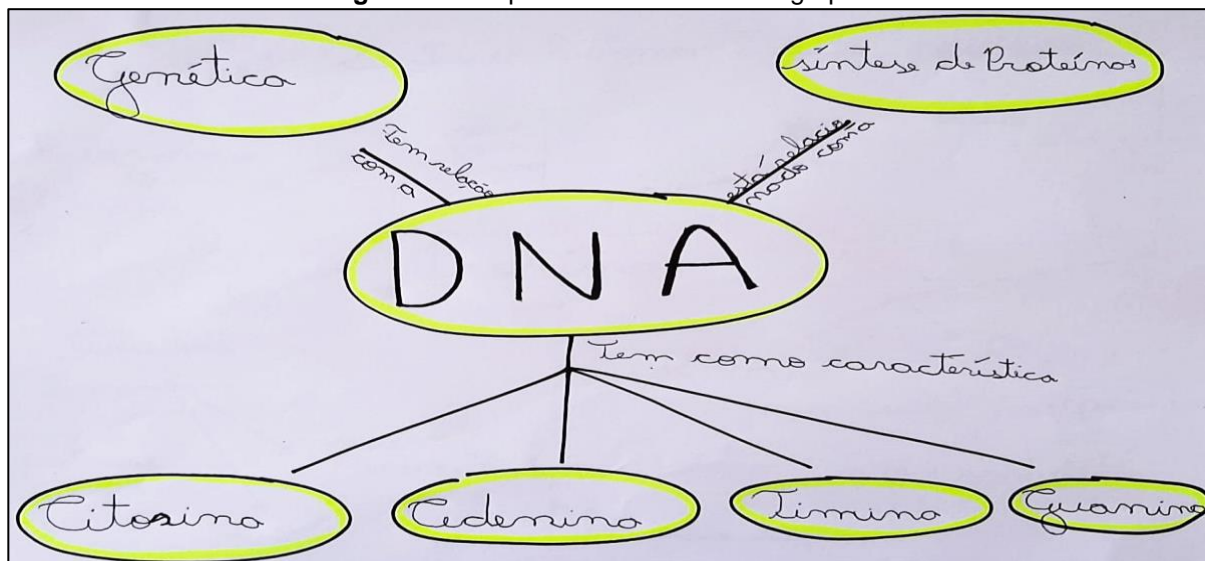
Figura 15 - Mapa Conceitual inicial do grupo 4



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Por sua vez o MCA do grupo 5 (Figura 16), demonstra que os estudantes não conheciam a relação entre DNA, síntese de proteínas e a genética. E também, revela a dificuldade em entender a relação entre o DNA e as bases nitrogenadas.

Figura 16 - Mapa Conceitual inicial do grupo 5



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Os resultados obtidos com o MCA como um recurso avaliativo prévio, que consta de elaboração e explicação oral do Mapa, evidenciaram que nessa etapa da sequência didática, os estudantes ainda não tinham alcançado a diferenciação progressiva, que nos MC é apresentado pelas ligações verticais entre os conceitos, partindo dos mais gerais para os mais inclusivos. Não apresentaram, por exemplo relações importantes entre os conceitos, tais como: o DNA e a célula, o DNA e as bases nitrogenadas, as proteínas e o metabolismo, o papel do DNA nos organismos, a síntese de proteínas com o gene / genética / DNA. Também não tinham alcançado a reconciliação integrativa, que nos MC é evidenciada pelas ligações horizontais entre os conceitos. Tal resultado era esperado nessa etapa da UEPS, uma vez que esses processos cognitivos ainda não haviam sido estimulados intencionalmente na sequência didática.

Esses resultados são semelhantes aos levantados no questionário pré-teste. Tais dificuldades são comuns na 1ª série do ensino médio, sendo um dos motivos que nos levaram a investigar a aprendizagem dessa temática.

4.4. ANÁLISE DOS MAPAS CONCEITUAIS FINAIS

Ao analisarmos os resultados do MCB de cada grupo de estudantes, verificamos ligações verticais e horizontais entre os conceitos, que apontam para o desenvolvimento da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa, respectivamente. Como visto, na análise do MCA na Seção 4.3, tais processos cognitivos não haviam sido demonstrados. Como os MC não são autoexplicativos, consideramos nessa análise, as explicações orais dos MCBs gravadas em áudio.

No MCB do grupo 1 (Figura 17), os estudantes incluíram os conceitos complexos relacionados ao Dogma Central da Biologia Molecular, tais como: códon, anticódon, aminoácidos, RNAm e RNAt e estabeleceram relações significativas entre esses e os demais conceitos inclusos. À exceção, os conceitos RNAm e códons, cujos conceitos foram relacionados, porém, não havia palavras de ligação que sugerissem quais seriam essas relações. Além disso, não ficou evidente se os estudantes conseguiram relacionar os conceitos citoplasma e ribossomos.

Entretanto, durante a explicação oral do MCB, os estudantes do grupo 1 foram questionados pela pesquisadora sobre a ausência de linhas indicando a ligação entre os conceitos citoplasma e ribossomo, assim como, a ausência de palavras de ligação

entre os conceitos RNAm e códon. A partir disso, os estudantes esclareceram essas relações oralmente, como transcrito:

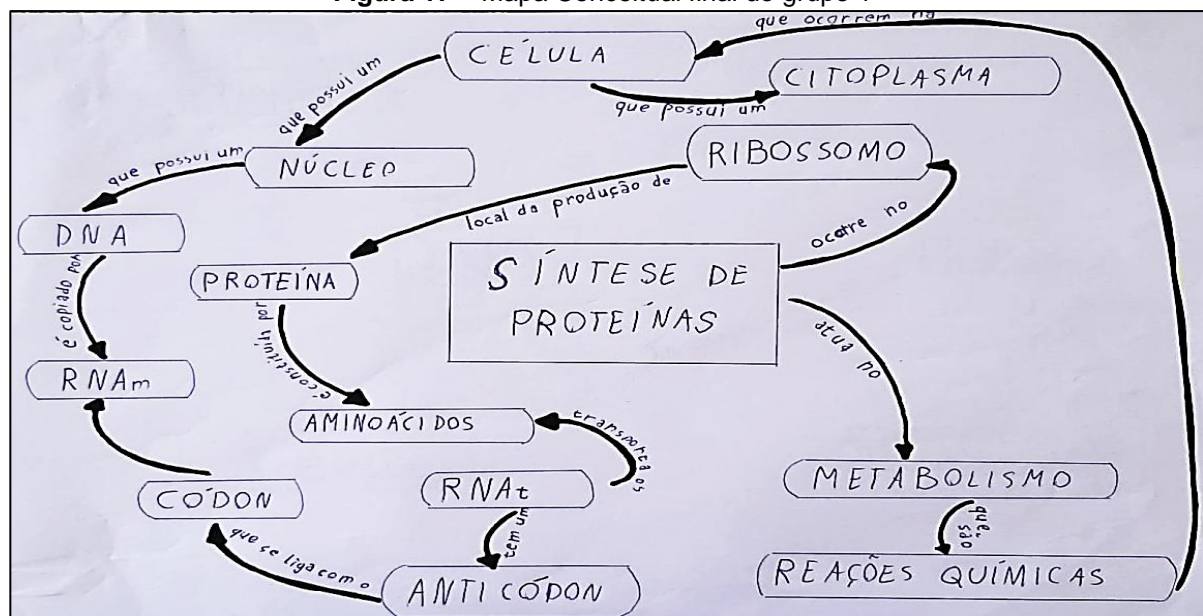
“O ribossomo fica no citoplasma, não no núcleo, por isso que o RNAm tem que sair de lá e ir até o ribossomo, porque o DNA não vai, ele precisa mandar uma mensagem” (A18).

“O códon são três letrinhas... como é o nome Mano?” (A15)

“Bases nitrogenadas” (A18).

“É! Cada três bases nitrogenadas forma um códon e ele está no RNAm. O códon é um código, eles têm o código para formar a proteína” (A15).

Figura 17 – Mapa Conceitual final do grupo 1



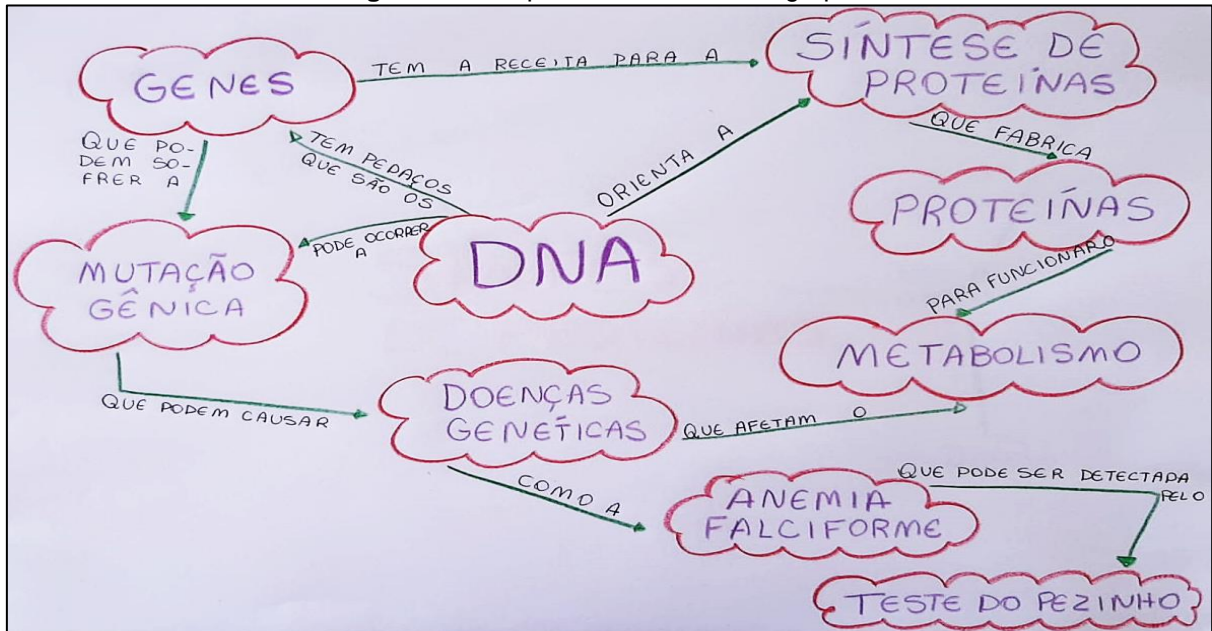
Fonte: elaborado pela autora, 2023.

A análise do MCB, acompanhada de sua explicação em áudio pelo grupo 1, demonstra a hierarquização entre os conceitos, bem como relações significativas entre si. Tal hierarquização, destaca o conceito síntese de proteína e estabelece ligações verticalizadas que evidenciam nos MC, o processo de diferenciação progressiva.

Em relação ao MCB do grupo 2 (Figura 18), a nossa análise verificou conceitos relacionados significativamente, como os conceitos doença genética e metabolismo e também, os conceitos doença genética e anemia falciforme. Nesse MCB, os estudantes não relacionaram diretamente o conceito de DNA e proteínas, contudo,

estabeleceram uma relação indireta ao ligarem os conceitos DNA, síntese de proteínas e proteínas.

Figura 18 – Mapa conceitual final do grupo 2



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Durante a explanação do grupo 2, ao serem questionados pela pesquisadora sobre a ausência de uma relação direta entre o DNA e a proteína, evidenciaram relações significativas entre os conceitos, conforme transcrito:

*“Ah professora! Eu acho que tem relação sim, não lembramos de colocar... é que o DNA comanda tudo no corpo, o metabolismo depende disso... poderia ter colocado aqui na linha que o DNA orienta o metabolismo também” (A27).
 “É como a (A27) falou, é a mesma coisa, o DNA coordena a fabricação das proteínas no corpo, porque o código está nele” (A14).*

Os estudantes do grupo 2, também realizaram afirmações espontâneas que destacamos em nossa análise, porque demonstraram conceitos mais amplos dos que os evidenciados no MCB, por exemplo, doenças metabólicas hereditárias e glóbulo vermelho. Ressaltamos que esses conceitos foram abordados na implementação da UEPS. Destaca-se a seguir tais relatos:

“A anemia falciforme é um tipo de doença metabólica hereditária... essas doenças tem esse nome porque interferem no metabolismo, porque quando tem uma mutação no DNA ele vai orientar a fabricação de uma proteína

diferente que pode não funcionar direito, daí o metabolismo não vai funcionar também, por isso a pessoa fica doente” (A9).

“Essa doença causa dores porque tem uma proteína que transporta o oxigênio no sangue, essa proteína não é produzida do jeito certo, daí o glóbulo vermelho em formato de lua...” (A14).

“De foice” (A20).

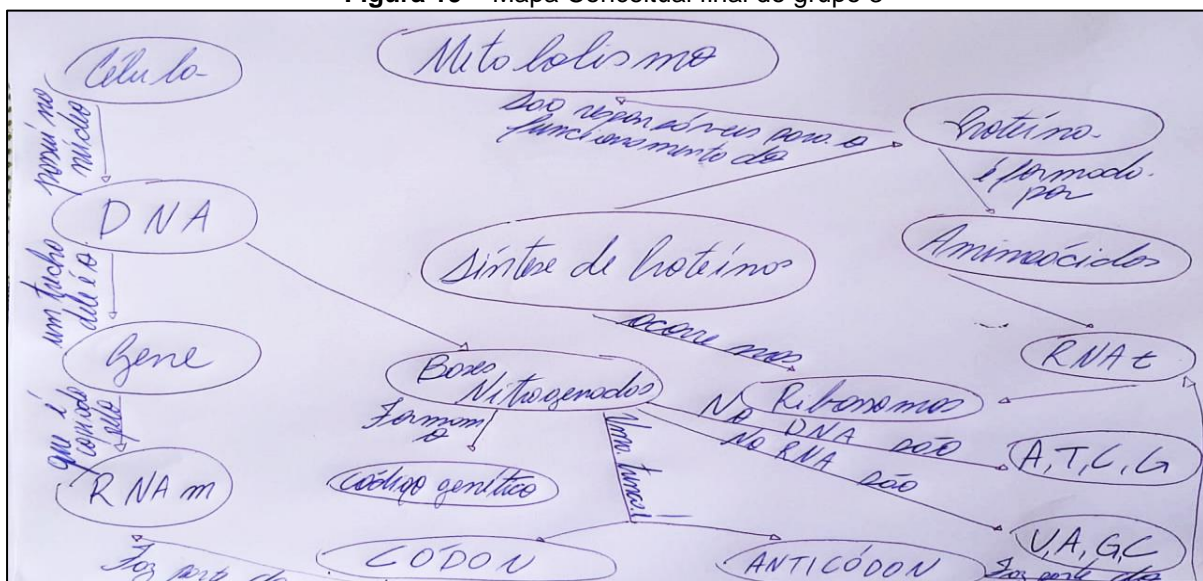
“...isso, como tem formato de foice, se enroscam uns nos outros e entopem as veias” (A14).

“A minha prima tem uma doença genética, tem um nome esquisito... esqueci o nome agora, mas eu perguntei para a minha tia se ela tinha feito o teste do pezinho e ela fez, o tratamento da minha prima começou cedo, ela faz uma dieta especial, é difícil, mas poderia ser pior” (A9).

A análise dos relatos supracitados, demonstram que os MC são recursos avaliativos muito ricos, visto que durante uma apresentação oral, os estudantes demonstraram evidências de AS, quando explicam, relacionam, exemplificam e diferenciam conceitos de um modo diferente do abordado no contexto da matéria de ensino.

Averiguamos, com a análise do MCB do grupo 3, relações complexas envolvendo o conceito bases nitrogenadas, pois explicitam quais são as bases nitrogenadas que compõem o DNA e quais delas compõem o RNA. No entanto, os estudantes não disponibilizaram no MCB palavras de ligação entre o conceito DNA e bases nitrogenadas, como pode ser observado na figura 19.

Figura 19 – Mapa Conceitual final do grupo 3



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Durante a apresentação oral do MCB, os estudantes do grupo 3, afirmaram que as bases nitrogenadas são componentes do DNA: “Eita, esquecemos de escrever aqui... entre o DNA e as bases nitrogenadas... o DNA é formado de bases nitrogenadas... elas fazem parte do DNA” (A35).

Ao serem questionados pela pesquisadora sobre a ausência de palavras de ligação entre os conceitos RNAt e ribossomos e entre aminoácidos e RNAt, um aluno do grupo 3 comentou: “É mesmo, esquecemos! Mas eu acho que a palavra pode ser: que vai, porque o RNA transportador vai até o ribossomo. Na outra pode ser: que é carregado, já que o RNA funciona como um burro de carga e a carga é o RNA transportador” (A23).

Fica evidente com essa fala do aluno, que houve uma relação significativa entre os conceitos de RNAt, ribossomos e aminoácidos. Além disso, o MCB do grupo 3 apresenta relações verticais e horizontais, expressando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, por exemplo, colocam a síntese de proteínas como conceito-chave, relacionando-a ao conceito de ribossomo de proteínas e desse conceito derivam os demais conceitos do MCB. Quando integram os conceitos de bases nitrogenadas ao código genético, ao códon e ao anticódon e ainda que esses últimos compõem respectivamente o RNAm e o RNAt, verificamos a reconciliação integrativa.

O grupo 4, por sua vez, ressaltou no MCB as etapas de transcrição e tradução, algumas funções das proteínas e o papel do RNAt e do RNAm. O MCB do grupo 4 é apresentado na Figura 20.

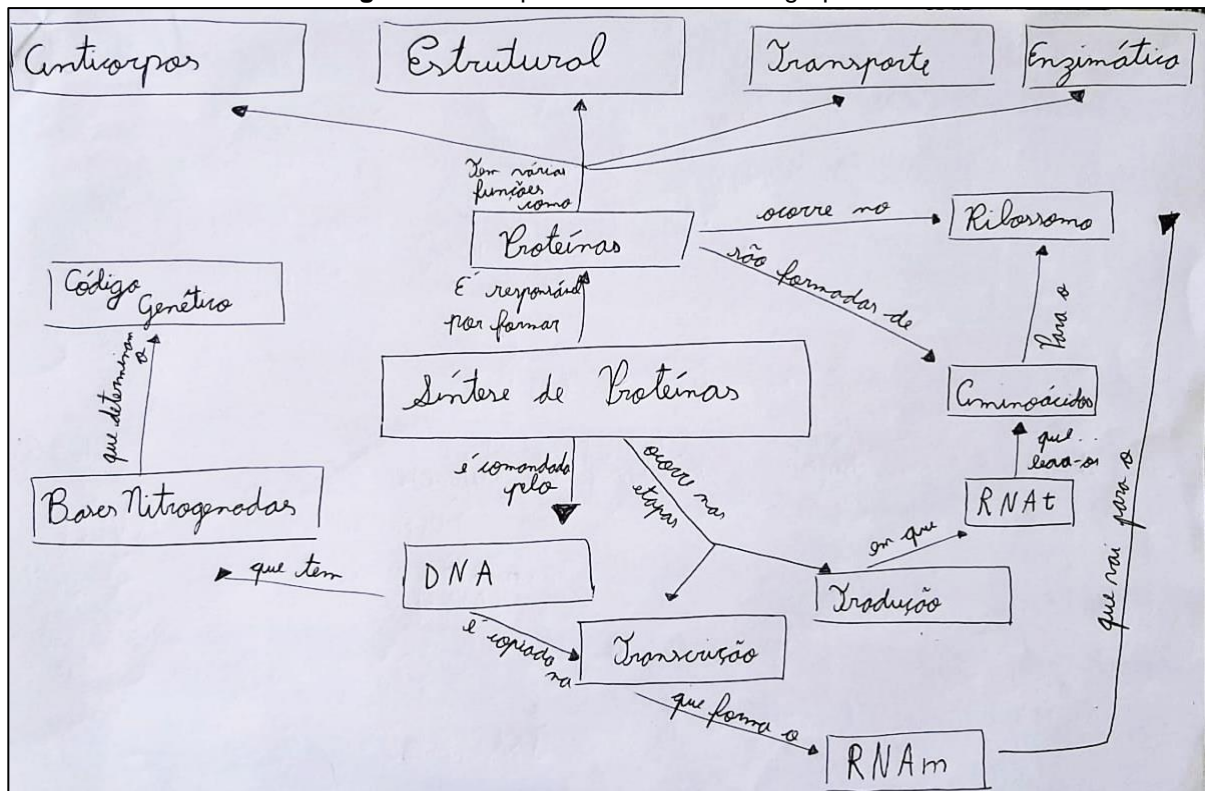
Ficou evidente na apresentação oral, a compreensão do tema pelos estudantes desse grupo, principalmente quando relataram, após a provocação da pesquisadora:

“O código genético serve para definir as nossas características genéticas, como a cor do cabelo. As funções que o corpo realiza pelas proteínas, também dependem desse código...quando o corpo precisa formar novas células, precisa de proteínas para formar a membrana plasmática” (A16).

“Poderíamos ter colocado uma linha ali ligando código genético com proteínas e escrever: determina as.” Se tivéssemos colocado gene, talvez ficaria melhor” (A3).

“É porque um gene é responsável por uma proteína. O código genético está no gene e é responsável por cada uma das proteínas... poderia ficar assim no Mapa?” (A3).

Figura 20 – Mapa Conceitual final do grupo 4



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

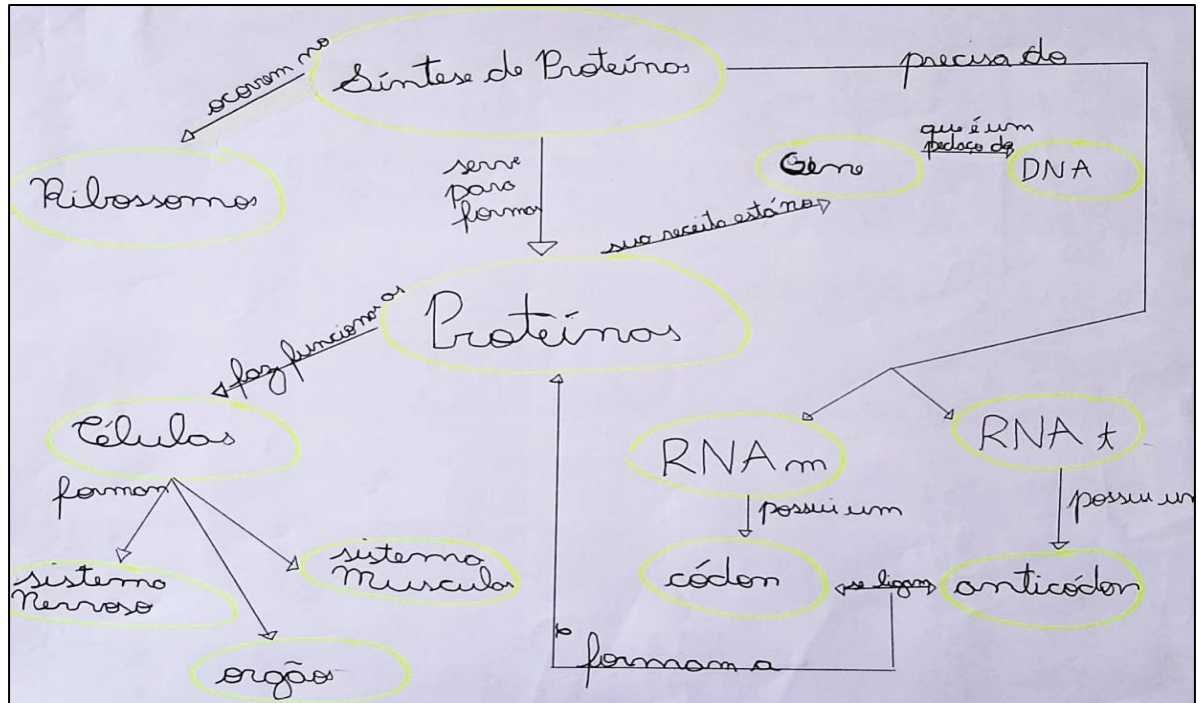
O MCB e o relato oral dos alunos do grupo 4, demonstram evidências da AS do Dogma Central da Biologia Molecular, pois estabeleceram relações significativas entre o código genético e o gene, entre o gene e o DNA, entre o gene e a síntese de proteínas. Inclusive relatam que as proteínas formam a membrana plasmática das células, assunto que foi tratado em aulas anteriores à implementação da UEPS, revelando que os novos conhecimentos foram ancorados nos conceitos subsunçores, uma condição para a ocorrência da AS.

O estudantes do grupo 5, fizeram o MCB (Figura 21), relacionando principalmente os conceitos síntese de proteínas e proteínas a outros conceitos, porém, destaca-se nesse MC, que os estudantes não respeitaram a hierarquia entre os conceitos órgãos e sistemas. Essa dificuldade quanto à temática nível de organização dos seres vivos, ficou evidente também, durante a apresentação oral do MCB, porém essa temática não foi tratada em nossa pesquisa.

Entretanto, os estudantes do grupo 5 respeitaram a hierarquia dos demais conceitos, por exemplo, mantiveram os conceitos síntese de proteínas e proteínas entre os conceitos mais inclusivos, sendo esta uma evidência da diferenciação progressiva. Enquanto consideraram códon e anticódon no mesmo nível, bem como

os conceitos de RNAm e de RNAt, sendo portanto, uma evidência da reconciliação integrativa.

Figura 21 – Mapa Conceitual final do grupo 5



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

4.5. COMPARATIVO DOS RESULTADOS DOS MAPAS CONCEITUAIS INICIAIS E FINAIS

Apresentamos no Quadro 12, uma comparação entre os MCAs e o MCBs de cada grupo de alunos, levando em consideração os MC e a explicação oral realizada por eles, analisada nas gravações em áudio.

Essa análise, apontou para a amplitude das relações conceituais estabelecidas significativamente ao final da UEPS, inclusive quando observamos que nos MCBs de todos os grupos, um único conceito é relacionado a outros. Destacamos, portanto, as relações conceituais adquiridas ao longo da implementação da UEPS. Nos MCBs de todos os grupos, as relações conceituais apresentam hierarquização e integração entre diversos conceitos. Esse comparativo, demonstra o favorecimento na AS dos conceitos relacionados ao Dogma Central da Biologia Molecular, visto que evidencia processos cognitivos que contribuem para a AS.

Assim, concordamos com Moreira (2010), quando afirma que os MC são úteis no destaque de conceitos para dar-lhes o devido papel no desenvolvimento cognitivo.

Comparando o resultado inicial e final, temos que a UEPS implementada facilitou a aquisição de relações significativas entre os conceitos.

Quadro 12 – Comparativo das relações significativas nos Mapas Conceituais iniciais e finais

	RELAÇÕES SIGNIFICATIVAS NOS MCAs	RELAÇÕES SIGNIFICATIVAS NOS MCBs
Grupo 1	<ul style="list-style-type: none"> • A célula tem proteína; • A proteína é produzida pela síntese de proteínas; • O DNA serve para caracterizar geneticamente os organismos. 	<ul style="list-style-type: none"> • A síntese de proteínas ocorre no ribossomo; • A síntese de proteínas atua no metabolismo; • O metabolismo são reações químicas; • A célula possui um núcleo e um citoplasma; • O núcleo da célula possui DNA; • O DNA é copiado pelo RNAm; • O códon se liga a um anticódon; • O anticódon pertence ao RNAt; • O RNAt transporta aminoácidos; • A proteína é constituída por aminoácidos.
Grupo 2	<ul style="list-style-type: none"> • A proteína é produzida pela síntese de proteínas; • As proteínas servem para o metabolismo. 	<ul style="list-style-type: none"> • O DNA orienta a síntese de proteínas; • A síntese de proteínas fabrica proteínas; • As proteínas fazem funcionar o metabolismo; • O DNA é formado por pedaços que são genes; • Os genes têm a receita para a síntese de proteínas; • A mutação gênica pode causar doenças genéticas; • As doenças genéticas afetam o metabolismo; • Uma doença genética é a anemia falciforme; • A anemia falciforme pode ser detectada pelo teste do pezinho.
Grupo 3	<ul style="list-style-type: none"> • A proteína é produzida pela síntese de proteínas; • As proteínas servem para o metabolismo; • As proteínas são produzidas nos ribossomos; • As proteínas formam a membrana plasmática e os músculos. 	<ul style="list-style-type: none"> • As proteínas são responsáveis pelo funcionamento do metabolismo; • A síntese de proteínas ocorre nos ribossomos; • As proteínas são formadas por aminoácidos; • A célula possui DNA no núcleo; • O gene é um trecho do DNA; • O gene é copiado pelo RNAm; • As bases nitrogenadas formam o código genético;

		<ul style="list-style-type: none"> • Uma trinca de bases nitrogenadas pode ser códon ou anticódon; • O códon faz parte do RNAm; • O anticódon faz parte do RNAt.
Grupo 4	<ul style="list-style-type: none"> • A síntese de proteínas auxilia a saúde do organismo; • A imunidade auxilia a saúde; • As proteínas aumentam a imunidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • A síntese de proteínas é comandada pelo DNA; • O DNA tem bases nitrogenadas; • As bases nitrogenadas determinam o código genético; • O DNA é copiado na transcrição. • A síntese de proteínas ocorre nas etapas transcrição e tradução; • Pela transcrição forma-se o RNAm; • O RNAm migra para o ribossomo; • Na tradução o RNAt leva os aminoácidos para o ribossomo; • As proteínas são formadas de aminoácidos; • As proteínas têm várias funções como: anticorpos, estrutural, transporte e enzimática.
Grupo 5	<ul style="list-style-type: none"> • Existe uma relação entre o DNA, a síntese de proteínas e a genética. 	<ul style="list-style-type: none"> • A síntese de proteínas serve para formar as proteínas; • A receita das proteínas está no gene; • O gene é um pedaço do DNA; • A síntese de proteínas ocorre no ribossomo; • A síntese de proteínas precisa do RNAm e do RNAt; • O RNAm possui um códon; • O RNAt possui um anticódon; • O códon e o anticódon se ligam e formam as proteínas; • As proteínas fazem as células funcionarem; • As células formam os órgãos, o sistema nervoso, o sistema muscular.

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

4.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO PÓS-TESTE

O questionário pós-teste (Apêndice H), foi desenvolvido com categorias *a priori*, a saber: capacidade de explicar, captar significados, diferenciar progressivamente e aplicar os conhecimentos.

Tais categorias foram escolhidas com base em Masini e Moreira (2017, p. 44), quando afirmam que para ocorrer a AS, o estudante deve adquirir “novos conhecimentos com significados, compreensão, capacidade de aplicação desses conhecimentos em explicações, argumentações e soluções de situações-problema.”

Desse modo, nas respostas ao questionário, buscamos indícios de AS, refutando a memorização. Os resultados do questionário pós-teste são apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 - Resultado do questionário pós-teste

Categorias	Quantidade de alunos
Capacidade de explicar	12 (40%)
Captar significados	25 (83,3%)
Diferenciar progressivamente	14 (46,7%)
Capacidade de aplicar os conhecimentos	7 (23,3%)

Fonte: elaborado pela autora, 2023.

Na categoria, capacidade de explicar o conhecimento, analisamos as respostas para a seguinte questão:

- Como as proteínas são produzidas pelos organismos? (explique em detalhes).

Na busca de evidências da AS, procuramos respostas que relacionassem o gene à síntese de proteínas, incluindo a participação das moléculas de RNA. Verificamos conforme visto no Quadro 13, que 40% dos estudantes demonstraram a capacidade de explicar o conhecimento. Vejamos algumas explicações dos alunos:

“O RNA mensageiro leva as informações do DNA para o ribossomo e o ribossomo pega os aminoácidos para construir a proteína. O ribossomo lê o RNA de 3 em 3 bases para saber qual a proteína ele vai fabricar” (A7).

“O DNA tem a receita de cada proteína em cada gene, um gene é copiado formando o RNAm, que sai do núcleo para o ribossomo levando a fórmula para produzir a proteína. Lá o RNAt leva o aminoácido que combina com a fórmula, um de cada vez e vão se ligando um ao outro até formar a proteína” (A16).

“A síntese de proteína começa com a transcrição do DNA, o código da proteína é levado pelo RNA mensageiro para o local em que será feita a tradução. Daí vai ter os aminoácidos que são trazidos pelo RNAt um por um na ordem do código” (A19).

Como a AS é progressiva, os estudantes não vão dominar totalmente a temática em pouco tempo, porém, nos relatos percebemos evidências de que alguns alunos conseguiram explicar o Dogma Central da Biologia Molecular.

Na segunda categoria, captar significados, analisamos se os estudantes conseguiram alcançar novos significados a partir das negociações realizadas durante a UEPS. Essa análise considerou as respostas à questão:

- Por que precisamos estudar a síntese de proteínas? Como esse assunto pode interferir em nosso cotidiano?

Buscamos respostas em que os alunos demonstrassem que as proteínas estão relacionadas ao metabolismo, à saúde em geral, diferente da visão das proteínas apenas como nutrientes. 83,3% desenvolveram a capacidade de captar significados importantes sobre as proteínas, conforme as respostas destacadas:

“As proteínas fazem o nosso corpo funcionar, elas fazem parte do metabolismo. Precisamos nos alimentar bem, com proteínas que vão fornecer aminoácidos para a síntese de proteínas humanas” (A5).

“As proteínas são importantes para a nossa saúde, como os anticorpos, as enzimas. Sem a síntese de proteínas, o nosso corpo não funcionaria” (A13).

“Eu acho que nós precisamos das proteínas para regular o metabolismo, para que as reações químicas aconteçam. Nós precisamos sintetizar proteínas corretamente para viver com saúde” (A28).

Quanto à terceira categoria, diferenciar progressivamente, analisamos se os alunos conseguiram hierarquizar os conceitos, considerando dos mais gerais e inclusivos para os menos gerais e inclusivos, conforme a proposta da TAS. Para buscar tais evidências, propusemos no questionário pós-teste o seguinte exercício:

- Relacione os conceitos a seguir (apenas os conceitos que você conhece e que façam sentido para você):

PROTEÍNA – METABOLISMO – ANEMIA FALCIFORME – DNA – RNAt – RNAm – RIBOSSOMO – CÓDON – ANTICÓDON – AMINOÁCIDOS – MUTAÇÃO GÊNICA – DOENÇAS METABÓLICAS HEREDITÁRIAS – GENE

Nessa categoria, buscamos respostas que incluíssem a maioria dos conceitos adequadamente, totalizando que 46,7% dos alunos mostraram evidências de AS, porque conseguiram diferenciar progressivamente, conforme exemplos:

“As doenças metabólicas hereditárias ocorrem por mutação gênica e ela pode fazer surgir proteínas defeituosas prejudicando o metabolismo, um exemplo dessa doença é a anemia falciforme e as proteínas são formadas de aminoácidos que são transportados por RNAt até o RNAm, liga o anticódon com o códon” (A6).

“A anemia falciforme é uma doença que prejudica o metabolismo (doença metabólica hereditária) que está relacionada com a síntese de proteínas que ocorre no ribossomo e tem a participação do RNAm, do RNAt e dos aminoácidos. Um conjunto de aminoácidos ligados forma a proteína. Uma mutação gênica forma o glóbulo vermelho do sangue em forma de foice por causa da proteína que não foi sintetizada corretamente” (A8).

“O metabolismo são reações químicas que são importantes e precisa das proteínas que o corpo sintetiza. Se não sintetizar a proteína certa é porque teve uma mutação gênica que pode causar doenças metabólicas hereditárias como a anemia falciforme. Para fazer a síntese de proteínas precisa do RNAm e do RNAt, do ribossomo e da receita que está no gene que é um pedaço do DNA. O códon e anticódon se complementam para ter a informação do aminoácido que deve fazer parte da proteína” (A11).

A quarta e última categoria, capacidade de aplicar os conhecimentos, analisamos se os estudantes conseguiram aplicar o conhecimento em outras situações diferentes do contexto da matéria de ensino, a partir da questão:

- Quais soluções o conhecimento sobre o Dogma Central da Biologia Molecular pode trazer para os seres humanos? Descreva a importância desse assunto.

Para considerar os estudantes que satisfizeram essa condição, buscamos respostas que trouxessem assuntos relacionados ao dia-a-dia dos seres humanos. Constatamos que 23,3% dos alunos demonstram saber aplicar o conhecimento adquirido, conforme relatado:

“Descobrir se o seu filho tem uma doença genética é importante para começar logo o tratamento, o teste do pezinho serve para isso porque quando mais cedo saber melhor para a saúde” (A22).

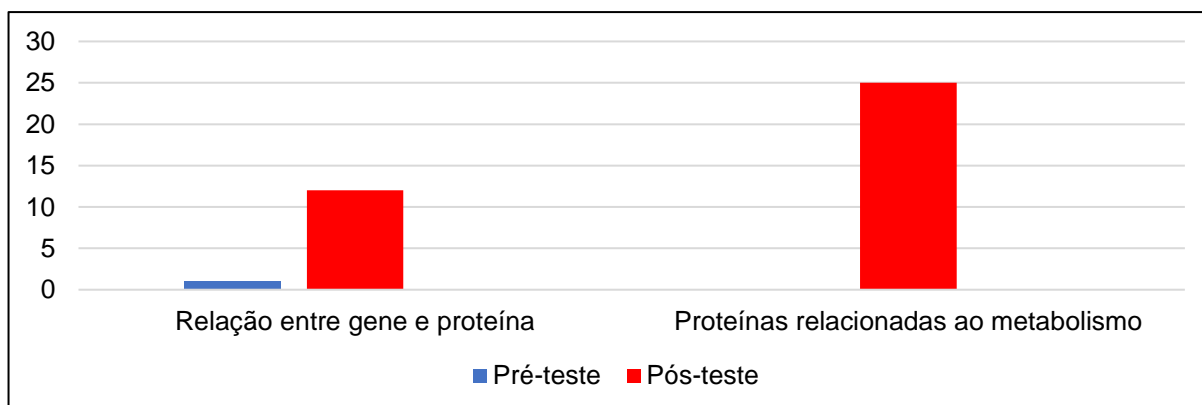
“Entender como o corpo funciona, nossa genética, é importante para entender doenças genéticas, tratar e curar” (A14).

“Saber que as mutações podem causar doenças sérias, nos leva a termos mais cuidado e buscar evitar quando possível se expor a causas de mutação” (A27).

Portanto, temos que os resultados obtidos com esse questionário pós-teste, são semelhantes aos resultados obtidos na pesquisa de Correia (2019), em que a implementação de uma UEPS sobre microrganismos evidenciou AS, principalmente quanto à capacidade de captar significados, sendo que de um total de 59 alunos, 30 atingiram essa categoria de aprendizagem. Ainda, coincidindo com esta pesquisa, a categoria de aprendizagem de menor alcance foi a capacidade de aplicar o conhecimento, sendo 6 alunos de total de 59, atingiram essa capacidade.

Analisando os resultados do questionário pós-teste em comparação com o pré-teste, verificamos um aumento de respostas adequadas sobre a relação entre o gene e a proteína, sendo que 12 alunos alcançaram a resposta adequada no final da UEPS, enquanto no início, apenas um aluno havia alcançado essa categoria de resposta. Também verificamos que no início da UEPS, nenhum estudante relacionou as proteínas ao metabolismo, e após a implementação da sequência didática, 25 alunos conseguiram estabelecer essa relação, conforme a Figura 22. Tal comparativo, revela que a UEPS contribui para a AS, de conceitos mais abstratos, que são os conceitos que os alunos demonstram mais dificuldade, como visto na Figura 11.

Figura 22 - Comparativo de algumas respostas do questionário pré-teste e pós-teste



Fonte: elaborado pela autora, 2023.

É importante lembrar, que a consolidação ausubeliana não é imediata, deve ser entendida na perspectiva da progressividade, ocorrendo simultaneamente com a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (MASINI; MOREIRA, 2017). Além disso, é preciso considerar que cada sujeito tem as suas singularidades, nem todos têm os mesmos subsunçores, a mesma predisposição a aprender, nem interagem à matéria e/ou ao material de ensino da mesma forma, assim a UEPS não

atingirá o mesmo resultado com todos os alunos, nem com outros tipos atividades didáticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A UEPS foi planejada, implementada e analisada com base na TAS ausubeliana, com o propósito de verificar se esse tipo de sequência didática favorece a AS do Dogma Central da Biologia Molecular. Na elaboração e desenvolvimento dessa sequência didática, consideramos os subsunçores dos estudantes e escolhemos os organizadores prévios de acordo.

As dificuldades apresentadas, no início da UEPS, pelos estudantes em relação à linguagem científica, ocorreram devido à preocupação que os alunos demonstraram ao terem contato com conceitos novos, presentes no instrumento utilizado para levantar os subsunçores e nos organizadores prévios. Assim, as reações negativas iniciais, ocorreram devido à angústia dos estudantes em ter que memorizá-los. Entretanto, os conceitos científicos presentes nesses instrumentos, não objetivaram a memorização, mas a captação de significados.

Assim, percebemos como os estudantes estão condicionados à aprendizagem mecânica, pois a preocupação inicial deles era entender os fragmentos de conceitos e não o processo da síntese de proteínas. Como a AS é progressiva, direcionamos o ensino na perspectiva da Diferenciação Progressiva, proposta pela UEPS, que possibilita apresentar primeiramente o tema dos conceitos mais gerais e inclusivos, proporcionando uma visão ampla no primeiro momento que possa ser ancorada aos subsunçores. Com isso, as inseguranças dos estudantes foram, aos poucos, sendo superadas, pois à medida que a AS acontece, ela vai gerando sentimentos positivos.

O uso de materiais potencialmente significativos, principalmente as atividades colaborativas, o simulador virtual e a modelagem didática, despertaram engajamento, ou seja, a predisposição em aprender da turma como um todo. Sem a predisposição em aprender não há AS. Os materiais foram considerados potencialmente significativos porque foram capazes de dialogar de maneira apropriada e relevante com os subsunçores dos aprendizes. Tais materiais, estimularam a dialogicidade, a participação ativa dos estudantes, colocando o aluno em contato com os conceitos e proposições relacionados ao objeto de estudo, houve, portanto, uma relação triádica entre aluno, professor e material educativo.

Isso se confirmou também, por meio do uso dos MC, que oportunizaram situações para que os alunos dialogassem entre si, em uma atividade colaborativa, com a mediação da professora/pesquisadora, gerando a negociação de significados.

Assim, entendemos os MC como um recurso fundamental nessa UEPS, visto que por meio deles, os alunos externalizaram os significados que estavam captando, inclusive oralmente, no início e no fim da sequência didática. Assim, esse recurso foi considerado formativo e avaliativo, porque evidenciou AS, por meio da Diferenciação Progressiva e/ou Reconciliação Integrativa.

Destacamos também, evidências de que a UEPS possibilitou a AS de conceitos mais abstratos, que são os conceitos que os estudantes demonstraram maior dificuldade.

Por seu caráter progressivo, a AS, envolve continuidades, ou seja, quando os sujeitos modificam os seus subsunçores, são capazes de aprenderem significativamente novos conhecimentos. Isso significa que, a consolidação dos conhecimentos não pode ser observada somente com a implementação de uma UEPS, porque é um processo lento e contínuo.

Com base na análise dos dados, infere-se que os resultados são satisfatórios, pois os objetivos foram alcançados, à medida que observamos indícios de AS do Dogma Central da Biologia Molecular. Tal proposta, amplia as possibilidades do docente de Biologia, que pode adaptar a UEPS conforme o contexto de ensino-aprendizagem, entretanto, recomendamos a manutenção dos princípios da UEPS descritos nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. G. de.; CORREIA, P. R. M. Como fazer bons mapas conceituais? Estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento. **Revista Brasileira de pesquisa em Educação em Ciências**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 141-157, 2013.
- ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; MORGAN, D.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. **Biologia Molecular da Célula**. Tradução de Ardala Elisa Breda Andrade *et al.* 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 1464 p.
- ASSIS, A.; CARVALHO, F. L. de C. A postura do professor em atividades envolvendo a leitura de textos paradidáticos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 01-17, 2008.
- AUSUBEL, D. P. **The Psychology of Meaningful Verbal Learning: An Introduction to School Learning**. New York: Grune&Stratton, 1963. 255 p.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 1980. 625 p.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2003, 35 p.
- BAGGIO, G. H. C. **Construção e implementação de UEPS: contribuições para aprendizagem significativa de conceitos de eletrodinâmica**. 2019. 106 f. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática e Ensino de Física), Universidade Federal de Santa Maria), Santa Maria, 2019.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016. 280 p.
- BATISTA, A.; ANDRADE, T. C. Anemia falciforme: um problema de saúde pública no Brasil. **Universitas: Ciências da Saúde**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 83-99, 2005.
- BRASIL. Constituição de 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.
- BRASIL. Ministério de Educação e Cultura. **Lei nº 9394/96, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Brasília: MEC, 1996.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2000.
- BRASIL. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)**. Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.
- BRASIL. **Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017**. Altera a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

CABRERA, W. B. **A ludicidade para o ensino médio na disciplina de biologia: Contribuições ao processo de aprendizagem em conformidade com os pressupostos teóricos da Aprendizagem Significativa**. 2007. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2007.

CAVALCANTE, D. D.; SILVA, A. F. A. da. Modelos didáticos de professores: concepções de ensino-aprendizagem e experimentação. *In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA*, Curitiba, 2008. **Anais eletrônicos [...]** Disponível em: <https://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0519-1.pdf>. Acesso em: 21 out. 2022.

CAVALCANTI, J. **Unidade de ensino potencialmente significativa para estudo do sistema respiratório humano no ensino fundamental II**. 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisas em ciências humanas e sociais**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2000. 106 p.

DUSO, L.; CLEMENT, L.; PEREIRA, P. B.; FILHO, J. de P. A. Modelização: uma possibilidade didática no ensino de biologia. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 15, n. 02, p. 29-44, 2013.

FERREIRA, M.; FILHO, O. L. S.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. P. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, p. 01-13, 2020.

FIALHO, W. C. G. As dificuldades de aprendizagem encontradas por alunos no ensino de biologia. **Praxia-Revista on-line de Educação Física da UEG**, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 53-70, 2013.

FILHO, O. L. da S.; FERREIRA, M. Modelo teórico para levantamento e organização de subsunçores no âmbito da Aprendizagem Significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Brasília, v. 44, p. 01-39, 2022.

FREITAS, X. M. S.; MACIEL-CABRAL, H. M.; SILVA, C. C. da. O ensino do dogma central da biologia molecular: dificuldades e desafios. **EDUCA-Revista Multidisciplinar em Educação**, Porto Velho, v. 7, n. 17, p. 452-468, 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

GOMES, A. P.; RÔÇAS, G.; COELHO, U. C. D.; CAVALHEIRO, P. de O.; GONÇALVES, C. A. N.; BATISTA, R. S. Ensino de ciências: dialogando com David Ausubel. **Revista Ciências e Ideias**, Nilópolis, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2009.

GOWIN, D. B. **Educating**. Ithaca: Cornell University Press, 1981. 210 p.

GREGÓRIO, E. A.; OLIVEIRA, L. G. de; MATOS, S., A. de. Uso de simuladores como ferramenta no ensino de conceitos abstratos de Biologia: uma proposição investigativa para o ensino de síntese proteica. **Experiências em ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 11, n. 1, p. 101-125, 2016.

GRIFFITHS, A. J. F.; WESSLER, S. R.; CARROLL, S. B.; DOEBLEY, L. **Introdução à genética**. Tradução de Sylvia Werdmüller von Elgg Roberto. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. 780 p.

HALMANN, A. L. Comunicação e formação em mídias digitais: novas práticas sociais na formação de professores de ciências. **Estudo e Comunicação**, Curitiba, v. 8, n. 16, p. 165-171, 2007.

LÜDKE, M.; ANDRE, M. E. D. A. **A Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 2. ed. Rio de Janeiro: E.P.U., 2013. 128 p.

MANFREDINI, V.; CASTRO, S.; WAGNER, S.; BENFATO, M. A fisiopatologia da anemia falciforme. **Infarma-Ciências Farmacêuticas**, Brasília, v. 19, n. 1/2, p. 3-6, 2007.

MASINI, E. F. S.; MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa na Escola**. Curitiba: CRV, 2017. 88 p.

MELO, J. R. de; CARMO, E. M. Investigações sobre o ensino de genética e biologia molecular no ensino médio brasileiro: reflexão sobre as publicações científicas. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 15, n. 3, p. 592-611, 2009.

MORAES, R. M. de. **A aprendizagem significativa de conteúdos de biologia no ensino médio, mediante o uso de organizadores prévios e mapas conceituais**. 2005. 175 f. Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2005.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982. 112 p.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. 195 p.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. São Paulo: Centauro, 2010. 80 p.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa em mapas conceituais. **Textos de apoio ao professor de física**, v. 24, n. 6, p.1-49, 2013.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa, campos conceituais e pedagogia da autonomia: implicações para o ensino. *In: IX COLÓQUIO INTERNACIONAL "EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE"*, Aracajú, 2015. **Anais eletrônicos [...]** Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/9319/3/Aprendizagem_significativa_campos_conceituais_e_pedagogia.pdf Acesso em: 06 jan. 2023.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa em ciências: condições de ocorrência vão muito além de pré-requisitos e motivação. **ENCITEC**, Santo Ângelo, v. 11, n. 2, p. 25-35, 2021.

NETO, G. C. de G.; PITOMBEIRA, M. da S. Aspectos moleculares da anemia falciforme. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 1, p. 51-56, 2003.

NETO, J. A. da S. P. Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel: perguntas e respostas. **Série-Estudos-Periódico do Programa de Pós-Graduação em Educação da UCDB**, Campo Grande, n. 21, p. 117-130, 2006.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. **Práxis educativa**, Ponta Grossa, v. 5, n. 1, p. 9-29, 2010.

PARANÁ. Sistema Estadual de Ensino do Paraná. **Referencial curricular para o Ensino Médio do Paraná**. Curitiba: SEED/PR, 2021.

PEDRANCINI, V. D.; CORAZZA-NUNES, M. J.; GALUCH, M. T. B.; MOREIRA, A. L. O. R.; RIBEIRO, A. C. Ensino e aprendizagem de Biologia no ensino médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las ciencias**, Vigo, v. 6, n. 2, p. 299-309, 2007.

PELIZZARI, A.; KRIEGL M. de L.; BARON, M. P.; FINCK, N. T. L.; DOROCINSKI, S. I. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **Revista PEC**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 37-42, 2002.

PINHEIRO, S. A.; COSTA, I. A. S. da; SILVA, M. F. da. Aplicação e teste de uma sequência didática sobre sistema sanguíneo ABO no ensino médio de Biologia. *In: IX ENPEC - ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, Águas de Lindóia, 2013. **Anais eletrônicos [...]** Disponível em: http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/ixenpec/atas/resumos/R1451-1.pdf Acesso em: 24 ago. 2022.

PITOMBO, M. A.; ALMEIDA, A. M. R. de; EL-HANI, C. N. Conceitos de gene e idéias sobre função gênica em livros didáticos de biologia celular e molecular do ensino superior. **Revista Contexto & Educação**, Ijuí, v. 22, n. 77, p. 81-110, 2007.

PRAIA, J. F. Aprendizagem significativa em D. Ausubel: contributos para uma adequada visão da sua teoria e incidências no ensino. *In: III ENCONTRO*

INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. **Anais...** Peniche, 2000. p. 121-134.

PUHL, C. S.; MÜLLER, T. J.; LIMA, I. G. de. As contribuições de David Ausubel para os processos de ensino e de aprendizagem. **DYNAMIS**, Blumenau, v. 26, n. 1, p. 61-77, 2020.

RODRIGUES, D. D. Recorte bibliográfico da prevalência e diagnóstico da anemia falciforme. **Revista de Patologia do Tocantins**, Palmas, v. 4, n. 1, p. 23-38, 2017.

RONCH, S. F. A. da. **Utilização do tema vitaminas em uma UEPS para abordagem interdisciplinar entre química e biologia**. 2016. 183 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

SANTOS, J. A. dos. Reflexões sobre a evasão escolar: uma problemática na educação brasileira. **Revista Teias**, Rio de Janeiro, v. 21, p. 260-270, 2020.

SILVA, N. C. H. da; SILVA, J. C. G. da; MELO, M. G. N. de; SOUZA, I. F. A. C. de. Principais técnicas para o diagnóstico da anemia falciforme: uma revisão de literatura. **Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde-UNIT-Pernambuco**, Recife, v. 3, n. 2, p. 33-33, 2017.

SILVA, M. F. da. **Nova proposta didática para o ensino de biologia molecular na educação básica**. 2022. 77 f. Tese (Doutorado em Genética Evolutiva e Biologia Molecular), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

SOUZA, N. A. D.; BORUCHOVITCH, E. Mapas conceituais: estratégia de ensino/aprendizagem e ferramenta avaliativa. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v. 26, n. 3, p. 195-217, 2010.

TARTUCE, G. L. B. P.; MORICONI, G. M.; DAVIS, C. L. F.; NUNES, M. M. R. Desafios do ensino médio no Brasil: iniciativas das secretarias de educação. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, v. 48, p. 478-504, 2018.

TAVARES, R. Construindo mapas conceituais. **Ciências & cognição**, Rio de Janeiro, v. 12. p. 71-85, 2007.

TORGAN, D. A. **Lançamento de foguetes: uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa**. 2019. 210 f. (Dissertação em Ensino Interdisciplinar). Universidade Estadual do Paraná, Paranavaí, 2019.

UNIVERSIDADE do Colorado. **Phet**: Simulações Interativas. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/gene-expression-essentials. Acesso em 31 de out. 2022.

VALENTE, J. A. A comunicação e a educação baseada no uso das tecnologias digitais de informação e comunicação. **UNIFESO-Humanas e Sociais**, Teresópolis, v. 1, n. 01, p. 141-166, 2014.

WATSON, J. D.; BAKER, T. A.; BELL, S. P.; GANN, A.; LEVINE, M.; LOSICK, R.
Biologia molecular do gene. Porto Alegre: Artmed Editora, 2015. 912 p.

YIM, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Tradução: Daniel Grassi. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p.

ZATZ, M. A biologia molecular contribuindo para a compreensão e a prevenção das doenças hereditárias. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 7, p. 85-99, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Questionário pré-teste

Nome: _____ Código: _____

1. Qual o papel do DNA nos organismos?

2. Qual a relação entre os genes e o DNA?

3. Como os genes e as proteínas se relacionam?

4. Quais as funções das proteínas?

5. O que é uma mutação gênica?

6. O que é metabolismo?

APÊNDICE B

Texto 1: Enzimas e defeitos do metabolismo

Existem milhares de reações diferentes nas células vivas, cada uma delas catalisada por uma enzima específica. Fica fácil entender, dessa forma, que a falta de uma determinada enzima em um organismo, ou defeitos na sua estrutura, pode interromper uma cadeia de reações importantes para o funcionamento ideal do organismo. As proteínas são produzidas nas células sob o controle do DNA, o material genético. De forma simplificada, podemos assumir que um gene – um pedaço de molécula de DNA – é normalmente responsável pela produção de uma proteína, que pode ser uma enzima.

As doenças metabólicas hereditárias são causadas por mutações em trechos do DNA que provocam a produção de proteínas não funcionais, que não apresentam atividade, ou seja, não catalisam reações químicas ou transportam outras substâncias. Essas doenças prejudicam o crescimento e o desenvolvimento saudável. Atualmente, sabe-se da existência de mais de 500 doenças relacionadas ao metabolismo. A fenilcetonúria, a anemia falciforme, a hemofilia e a distrofia muscular progressiva, são algumas dessas doenças causadas pela produção de proteínas defeituosas, no organismo.

Os tratamentos dessas doenças podem ser bastante eficazes, mas o diagnóstico precoce é fundamental.

Adaptado de: SILVA JÚNIOR, C. da; SASSON, S; CALDINI JÚNIOR, N. **Biologia**. 11. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. 432 p.

Texto 2: Todos os seres vivos usam os mesmos 20 aminoácidos. Este é o porquê.

Dentre centenas de opções, todo animal, fungo e planta constrói proteínas com os mesmos tijolos químicos. Não é coincidência: tem mão da seleção natural aí.

As proteínas são os burros de carga da vida. Seus músculos são feitos de proteínas (actina e miosina). Suas unhas (queratina) também. São proteínas que digerem os carboidratos que você come (amilase) no momento em que eles tocam a saliva. A função do seu DNA, diga-se, é armazenar as receitas para fabricar as cerca de 92 mil proteínas do seu corpo. Uma vez produzidas, elas fazem o resto.

As proteínas são cadeias de componentes químicos menores chamados aminoácidos. São 20, ao todo. E o mais curioso é que os 20 aminoácidos essenciais para o ser humano são os mesmos que são essenciais para uma vaca, um morcego ou uma árvore. Toda a biosfera é montada com as mesmas peças de LEGO.

Especialistas da área sempre acharam meio estranho que, com tanta variedade disponível, apenas este conjunto limitado fosse usado pelos seres vivos. Análises de meteoritos que caíram na Terra mostraram a existência de mais de 80 aminoácidos nas rochas espaciais. Então por que esses 20 são os queridinhos da vida? Há algo de especial neles, ou seriam só uma configuração que a evolução das espécies cristalizou e reproduziu ad aeternum?

Publicado segunda (29) no periódico PNAS, um estudo conduzido por químicos do Instituto de Tecnologia da Geórgia e do Instituto de Pesquisa Scripps, nos Estados Unidos, concluiu que não — não é mera coincidência. Esses aminoácidos são feitos um para o outro, eles combinam. Reagem muito bem entre si, com bastante eficiência, e apresentam poucas reações colaterais adversas. Por isso tendem a formar ligações com maior facilidade.

Adaptado de: VAIANO, Bruno. Todos os seres vivos usam os mesmos 20 aminoácidos. Este é o porquê. **Superinteressante**. São Paulo, 2 ago. 2019. Ciência. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/todos-os-seres-vivos-usam-os-mesmos-20-aminoacidos-este-e-o-porque/>. Acesso em 11 fev. 2022.

APÊNDICE C

Simulação virtual da expressão gênica e discussão.

Objetivo: Simular a transcrição e a tradução gênica para entender a expressão gênica.

Material: folha de registro para anotação, acesso à internet pelo computador ou smartphone.

Procedimento:

- Acesse o endereço da simulação “Fundamentos da expressão gênica” do Phet da Universidade do Colorado, Estados Unidos, disponível no link: https://phet.colorado.edu/sims/html/gene-expression-essentials/latest/gene-expression-essentials_pt_BR.html
- Há diferente ferramentas no simulador, com “Expressão”, “mRNA”, “Células múltiplas”. Você deverá usar a ferramenta “Expressão”. Use os modelos de moléculas à esquerda do simulador para sintetizar três proteínas. No final do processo, você deverá ter produzido três proteínas.

Responda:

1. Qual é o fator que determina a diferença entre as proteínas sintetizadas?

2. Qual etapa foi necessária antes da síntese proteica propriamente dita?

3. Quais são os nomes empregados pelos cientistas para caracterizar as etapas observadas na simulação?

APÊNDICE D

Construindo um modelo didático – Síntese da cadeia de beta-globina humana

Objetivo: Simular o passo a passo da transcrição e da tradução gênica até formar os primeiros aminoácidos da cadeia de beta-globina humana, um dos componentes da hemoglobina - HbA.

Material: tesoura, cola, miniclipes e reprodução xerocopiada dos anexos 1, 2 e 3.

Procedimento 1:

- Recorte a cadeia de RNAm e as bases nitrogenadas do anexo 1;
- construa a sequência de RNA mensageiro (RNAm), colando as bases nitrogenadas complementares à fita molde do DNA.

Agora, responda:

a) Qual a sequência das bases nitrogenadas do RNAm?

b) Quantos códons foram formados nesse trecho da cadeia de RNAm? _____

Procedimento 2:

- Com os anexos 2 e 3 em mãos, recorte os seguintes elementos neles representados: RNAm, ribossomo, aminoácidos, RNAt e fator de liberação;
- identifique o aminoácido correspondente a cada códon do RNAm (utilize a tabela com o código genético, disponível no anexo 3), lembre-se de fazer a tradução para encontrar o RNAt, que tem o anticódon correspondente e fixe o aminoácido nele, com miniclipe. Por exemplo: se no RNAm tiver um códon CGU, correspondente ao aminoácido arginina, o RNAt que carrega esse aminoácido terá o anticódon GCA;
- em seguida, alinhe o RNAm na subunidade menor do ribossomo de modo que o códon de iniciação fique embaixo do sítio P, localizado na subunidade maior do ribossomo. Encaixe o RNAt da metionina no sítio P, de modo que seu anticódon se encaixe ao códon de início, o que representa o início da síntese de proteínas;
- encaixe o RNAt, que corresponde ao códon localizado sob o sítio A. O aminoácido transportado por esse RNAt será o segundo da cadeia polipeptídica. Solte a metionina de seu RNAt e prenda com um miniclipe na extremidade do segundo aminoácido;
- deslize o ribossomo para a direita, percorrendo uma distância correspondente a três bases, mantendo encaixados os códons e os anticódons. O RNAt da metionina fica fora do ribossomo e desliga-se do RNAm; o segundo RNAt, com os dois aminoácidos unidos, passa a ocupar o sítio P, o sítio A fica vazio. Encaixe o RNAt que corresponde ao códon localizado sob o sítio A. Solte a dupla de aminoácidos do RNAt localizado no sítio P e prenda na extremidade do terceiro aminoácido.
- repita o procedimento anterior até que o códon de parada passe a ocupar o sítio A do ribossomo. O encaixe do fator de liberação determina o fim da mensagem genética para a proteína, que se desliga do último RNAt.

Responda:

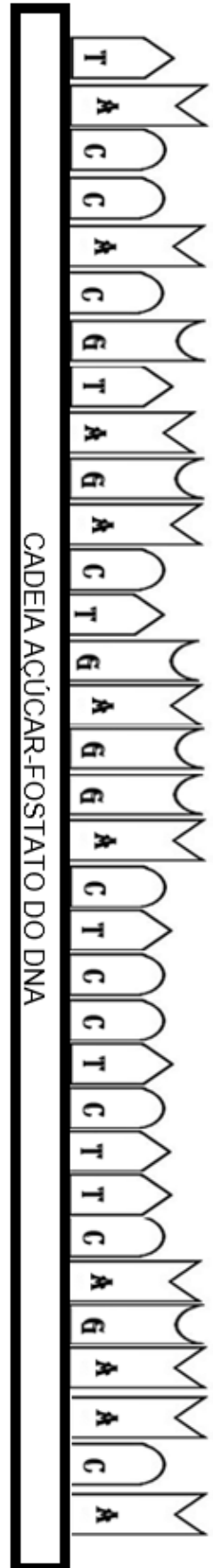
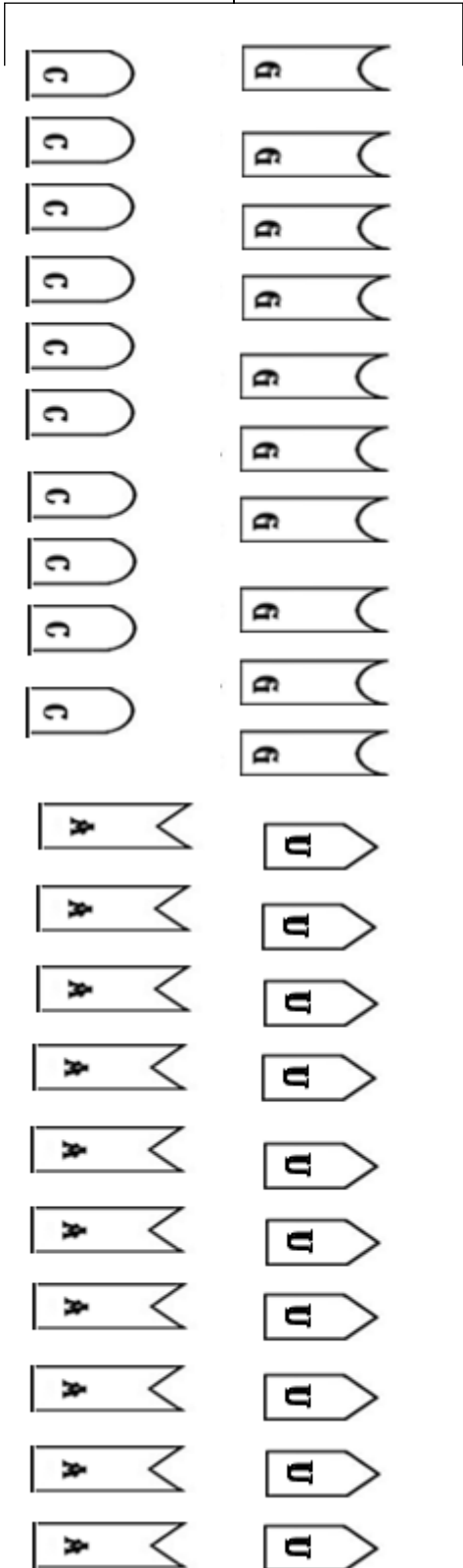
c) Qual a sequência de aminoácidos encontrada?

d) Para que serve o fator de liberação?

APÊNDICE D.1

Modelo didático – anexo 1

BASES NITROGENADAS



Colar as bases nitrogenadas

CADEIA AÇÚCAR-FOSFATO DO RNAm

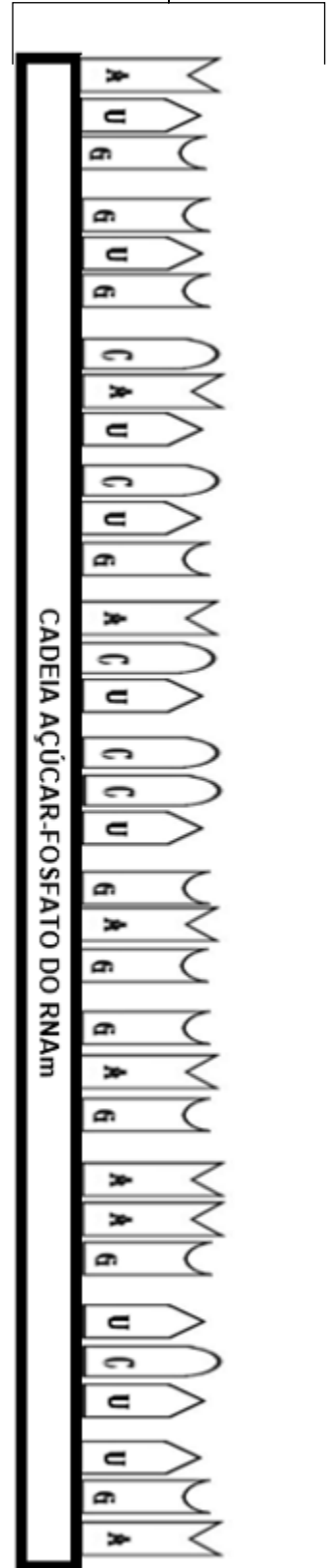
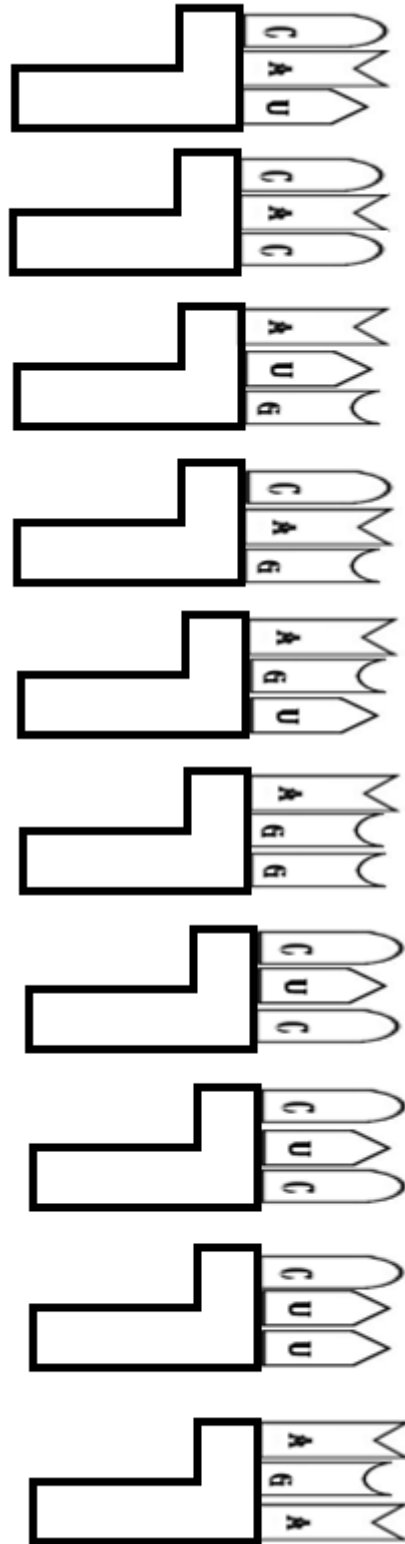
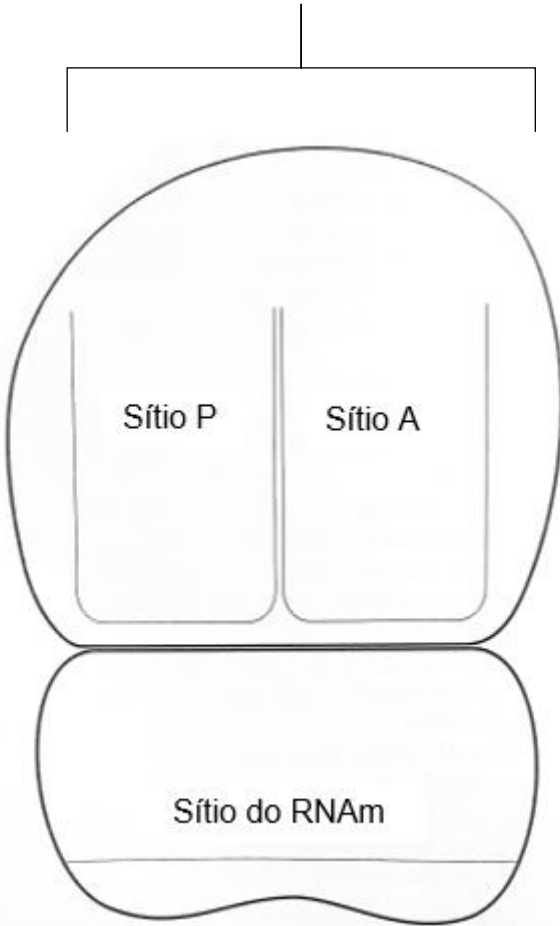
APÊNDICE D.2

Modelo didático – anexo 2

RNA_t

RNA_m

RIBOSSOMO



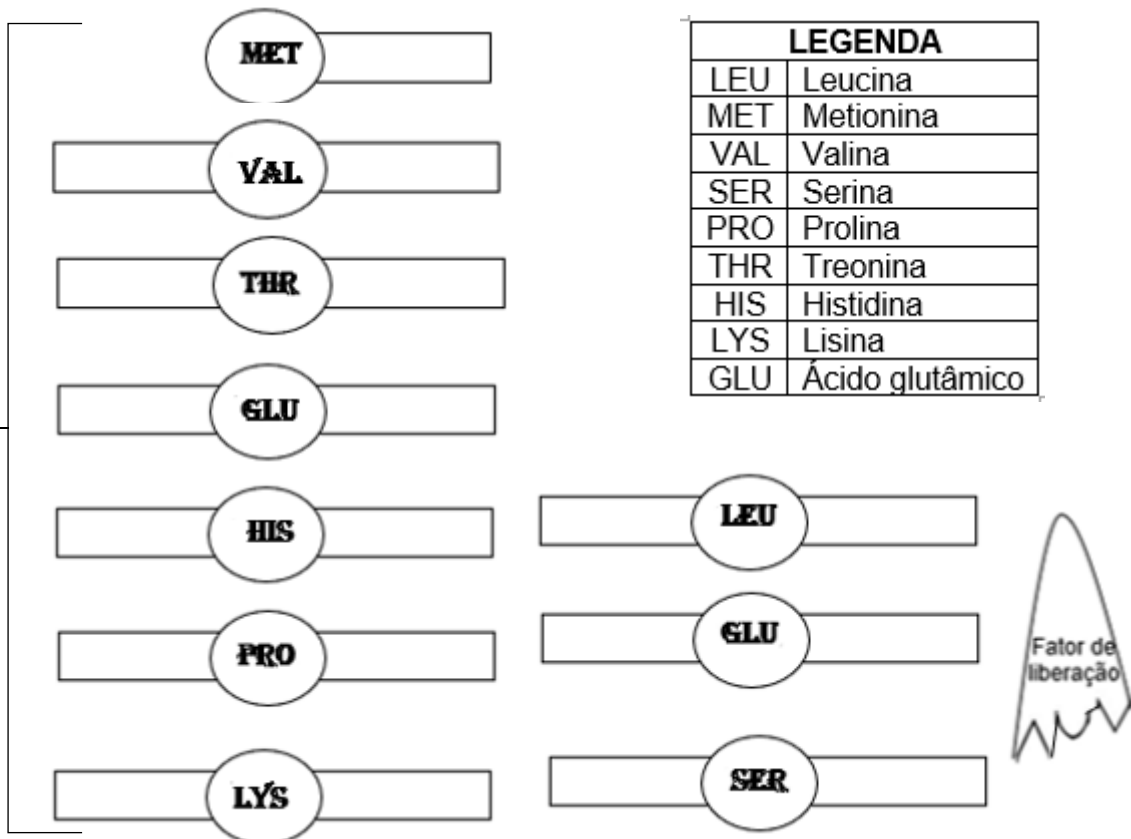
APÊNDICE D.3

Modelo didático – anexo 3

CÓDIGO GENÉTICO

		Segunda base do códon				
		U	C	A	G	
Primeira base do códon	U	UUU-Fenilalanina UUC-Fenilalanina UUA-Leucina UUG-Leucina	UCU-Serina UCC- Serina UCA- Serina UCG- Serina	UAU-Tirosina UAC-Tirosina UAA-PARADA UAG-PARADA	UGU-Cisteína UGC-Cisteína UGA-PARADA UGG-Triptofano	U C A G
	C	CUU- Leucina CUC- Leucina CUA- Leucina CUG- Leucina	CCU-Prolina CCC- Prolina CCA- Prolina CCG- Prolina	CAU-Histidina CAC-Histidina CAA-Glutamina CAG-Glutamina	CGU-Arginina CGC-Arginina CGA- Arginina CGG- Arginina	U C A G
	A	AUU-Isoleucina AUC-Isoleucina AUA-Isoleucina AUG-Metionina	ACU-Treonina ACC- Treonina ACA- Treonina ACG- Treonina	AAU-Aspargina AAC-Aspargina AAA-Lisina AAG-Lisina	AGU-Serina AGC-Serina AGA-Arginina AGG-Arginina	U C A G
	G	GUU-Valina GUC-Valina GUA-Valina GUG-Valina	GCU-Alanina GCC- Alanina GCA- Alanina GCG- Alanina	GAU-Ác. aspártico GAC-Ác. aspártico GAA-Ác. glutâmico GAG-Ác. glutâmico	GGU-Glicina GGC-Glicina GGA-Glicina GGG-Glicina	U C A G

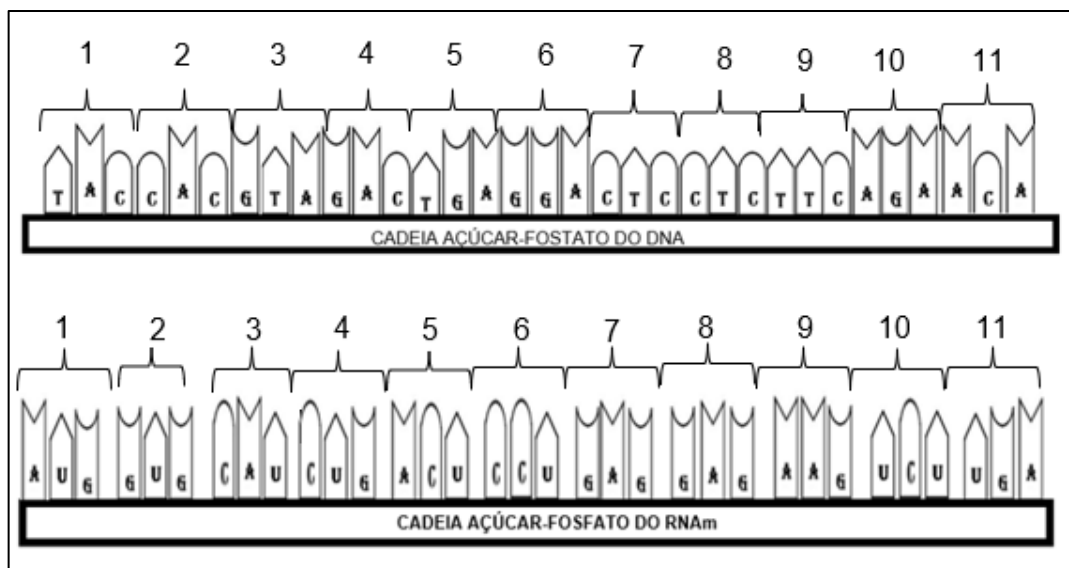
AMINOÁCIDOS



APÊNDICE E

Problematização com base no modelo didático construído

Observe a cadeia de DNA e de RNAm construída na aula anterior.



Consulte a tabela com o código genético e responda:

1. O que acontece quando na trinca 6 da cadeia de DNA, o nucleotídeo A é substituído por T?

2. O que acontece quando na trinca 9 (posição 25) o nucleotídeo T é substituído por A?

3. O que acontece quando na trinca 7 da cadeia do DNA, o nucleotídeo T é substituído por A (mutação)?

APÊNDICE F

Texto 3 - Doença Falciforme – Hemoglobinopatia

A Doença Falciforme é uma doença herdada em que os glóbulos vermelhos do sangue (hemácias), diante de certas condições, alteram sua forma e se tornam parecidos com uma foice, daí o nome falciforme.

Normalmente as hemácias têm a forma de um disco bicôncavo. Essas células são muito flexíveis e passam facilmente por pequenos vasos sanguíneos.

Desta forma elas são perfeitamente adaptadas para a entrega do oxigênio para os vasos menores e para as áreas mais remotas do corpo. Dentro de cada hemácia existem milhões de moléculas de hemoglobina (proteína formada de uma sequência específica de aminoácidos) que realizam o transporte de oxigênio ao nosso organismo.

Na Anemia Falciforme **o aminoácido ácido glutâmico é substituído por outro chamado valina**. Esta substituição de aminoácidos é que causa o fenômeno de afoçamento.

Na Doença Falciforme as hemácias contêm uma hemoglobina que é um pouco diferente da hemoglobina normal. A hemoglobina produzida é anormal e é chamada de S. Quando a pessoa recebe de um dos pais a hemoglobina A e de outro a hemoglobina S, ele é chamado de “traço falcêmico”, sendo representado por AS. O portador de traço falcêmico não é doente, sendo, portanto, geralmente assintomático e só é descoberto quando é realizado um estudo familiar. Quando uma pessoa recebe de ambos, pai e mãe, a hemoglobina S, ela nasce com Anemia Falciforme cuja representação é SS. Então os pais do paciente com Anemia Falciforme deverão ser portadores do traço ou doentes.

Os glóbulos vermelhos em forma de foice se agregam e dificultam a circulação do sangue nos pequenos vasos do corpo. Com a diminuição da circulação ocorrem lesões nos órgãos atingidos, causando crises de dor principalmente nos ossos ou articulações, no tórax, no abdômen, podendo atingir qualquer local do corpo, proveniente da obstrução de pequenos vasos pelos glóbulos vermelhos em foice. Nas crianças pequenas as crises de dor podem ocorrer nos pequenos vasos das mãos e dos pés causando inchaço, dor e vermelhidão no local. A icterícia é um sintoma mais frequente nesta doença. Quando o glóbulo vermelho se rompe, aparece um pigmento amarelo no sangue que se chama bilirrubina. A urina se torna de cor de coca-cola e o branco dos olhos se torna amarelo. O afoçamento dos glóbulos vermelhos no baço pode levar ao sequestro do sangue, ou seja, há uma grande atividade do baço na destruição desses glóbulos vermelhos causando, palidez, dor e aumento do baço. Outros sintomas como úlceras de perna ocorrem, frequentemente, próximas aos tornozelos.

Diferentes situações podem levar as células com hemoglobina S a se afoçarem. As mais comuns são: infecção, febre, exposição a temperaturas muito baixas ou muitas altas no ambiente e desidratação. Evitando-se sempre que possível essas situações, a pessoa com doença falciforme pode reduzir o risco de afoçamento de hemácias. Quando indicado pelo médico, toma-se penicilinas para evitar-se infecções a elas sensíveis. Existem outras maneiras que ajudam a prevenir e tratar o afoçamento e a dor, isto é, bebendo muito líquido.

O diagnóstico é feito através de testes hematológicos como o teste de afoçamento e estudo da hemoglobina. À medida que a população toma consciência da gravidade dessa doença e de sua alta prevalência, mais ela deverá buscar diagnóstico precoce com o teste do pezinho em recém nascidos ou o teste de afoçamento em todas as pessoas afro – descendentes.

A doença falciforme é uma das doenças hereditárias mais comuns no Brasil. Ela afeta principalmente a etnia negra. Cerca de 1 em cada 8 afro-brasileiros tem o que é chamado de traço falcêmico.

Disponível em: <https://ameo.org.br/doenca-falciforme-hemoglobinopatia/>. Acesso em 22 fev. 2022.

Questões para discussão:

1. Qual a mutação que ocorre no DNA que tem como consequência a formação da hemoglobina S?
2. Que doença essa mutação acarreta?
3. Qual a importância do teste do pezinho?
4. O que são doenças metabólicas hereditárias?

APÊNDICE G

Exercícios – Dogma Central da Biologia Molecular

1) A sequência ACU GAC AUG UUA CUC ACU AUU UGA CAG GUA A representa a molécula de RNA mensageiro cuja tradução ocorre da esquerda para a direita. Tendo como base a tabela de código genético, determine:

a) o códon a partir do qual será iniciada a cadeia polipeptídica;

b) o último códon com aminoácido correspondente na cadeia polipeptídica;

c) a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica codificada por esse RNA.

2) Considerando o RNA mensageiro da questão 1, quais seriam os efeitos nesse RNA mensageiro e no polipeptídio, se o 16º par de nucleotídeos do DNA demonstrado abaixo, fosse eliminado da molécula? Utilize a tabela do código genético.

Fita de DNA	ACT GAC ATG TTA CTC ACT ATT TGA CAG GTA A
Fita molde de DNA	TGA CTG TAC AAT GAG TGA TAA ACT GTC CAT T
RNA _m	ACU GAC AUG UUA CUC ACU AUU UGA CAG GUA A

3) O que significa a expressão “o Dogma Central da Biologia Molecular”?

APÊNDICE H

Questionário pós-teste

Nome: _____ Código: _____

1) Como as proteínas são produzidas pelos organismos? (explique em detalhes)

2) Por que precisamos estudar a síntese de proteínas? Como esse assunto pode interferir em nosso cotidiano?

3) Relacione os conceitos a seguir (apenas os conceitos que você conhece e que façam sentido para você):

PROTEÍNA – METABOLISMO – ANEMIA FALCIFORME – DNA – RNAt – RNAm – RIBOSSOMO – CÓDON – ANTICÓDON – AMINOÁCIDOS – MUTAÇÃO GÊNICA – DOENÇAS METABÓLICAS HEREDITÁRIAS - GENE

4) Quais soluções o conhecimento sobre o Dogma Central da Biologia Molecular pode trazer para os seres humanos? Descreva a importância desse assunto.
