

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DOUTORADO EM ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

FABIO SEIDEL DOS SANTOS

**PROGRAMA NEUROCIENTÍFICO PARA A APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA DE GENÉTICA**

TESE

PONTA GROSSA

2018

FABIO SEIDEL DOS SANTOS

**PROGRAMA NEUROCIENTÍFICO PARA A APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA DE GENÉTICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia (PPGECT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Ponta Grossa, como requisito parcial para obtenção do título de “Doutor em Ensino de Ciência e Tecnologia” – Área de Concentração: Ciência, Tecnologia e Ensino.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ângela Inês Klein

PONTA GROSSA

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa
n.25//18

S237 Santos, Fabio Seidel dos

Programa neurocientífico para a aprendizagem significativa de genética. / Fabio Seidel dos Santos. 2018.

260 f.; il. 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

Coorientadora: Profa. Dra. Ângela Inês Klein

Tese (Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia) - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

1. Neurociências. 2. Aprendizagem. 3. Genética - Estudo e ensino. I. Francisco, Antonio Carlos de. II. Klein, Ângela Inês. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 507



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus de Ponta Grossa
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Título da Tese Nº **10/2018**

PROGRAMA NEUROCIENTÍFICO PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE GENÉTICA

por

Fabio Seidel dos Santos

Esta tese foi apresentada às **14 horas** do dia **28 de fevereiro de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título de DOUTOR EM ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, com área de concentração em Ciência, Tecnologia e Ensino, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof.^a Dr.^a Lourdes Aparecida Della
Justina
(UNIOESTE)**

**Prof. Dr. Nei Alberto Salles Filho
(UEPG)**

**Prof.^a Dr.^a Elenise Sauer
(UTFPR)**

**Prof. Dr. Awdry Feisser Miquelin
(UTFPR)**

**Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco
(UTFPR) – Orientador**

**Prof. Dr. Awdry Feisser Miquelin
(UTFPR)**
Coordenador(a) do PPGECT – Doutorado
UTFPR – Câmpus Ponta Grossa

A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NO DEPARTAMENTO DE
REGISTROS ACADÊMICOS DA UTFPR – CÂMPUS PONTA GROSSA

Dedico este trabalho aos meus
queridos pais, Benedito e Roseli.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida, pela coragem e vigor para enfrentar os desafios impostos no meu dia a dia enquanto cadeirante tetraplégico.

Aos meus pais Benedito e Roseli, pelos quais não tenho apenas um imenso amor e carinho, mas uma enorme gratidão pela educação baseada em valores morais e éticos que me fizeram ser o homem que sou. Também agradeço pelo companheirismo nestes mais de 20 difíceis anos, após meu acidente e pelo constante incentivo e auxílio no aperfeiçoamento acadêmico e profissional. Pai e mãe, novamente lhes digo: este título de DOUTOR também pertence a vocês!

Ao meu irmão Flávio e meus familiares Rogério Seidel, Cacilda, Marcos e Rogério Seidel Júnior eu agradeço pelo carinho e apoio que me proporcionam diariamente.

Aos primos Vilson (Durango) e Rosângela (Polaca) e tia Zeni, eu agradeço pelo carinho que vocês têm por mim e pela minha família. Além disso, sou imensamente grato pelo fato de vocês cederem gentilmente um espaço em suas residências para nossa hospedagem, enquanto decorriam as atividades tanto do mestrado quanto do doutorado.

Ao meu grande amigo e orientador, Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco (Tico), eu agradeço, não apenas pela amizade que ultrapassa duas décadas, mas também pelo carinho que essa pessoa extraordinária tem por mim e pela minha família, pela confiança em mim depositada e pelas orientações que me auxiliaram a desenvolver este trabalho com a maior qualidade possível. Tico, meu irmão, me faltam palavras para lhe agradecer tudo o que tem feito por mim e pela minha família! Deus lhe abençoe sempre!

À minha coorientadora Prof.^a Dr.^a Ângela Inês Klein, pessoa muito querida, eu agradeço pela amizade, incentivo e por estar sempre disposta a me orientar na construção e desenvolvimento deste trabalho.

Aos queridos (as) amigos (as), colegas do doutorado, Ana Cristina, Antonella, Clodogil, Daniela, Eliana, Fabiane, Fábio, Nelson, Jaqueline, João Paulo, Lúcia, Rafael, Sandra e Tânia, agradeço pela amizade e pelos agradáveis anos de convivência ao longo deste curso.

À minha querida amiga e colega Dr.^a Daniela Frigo Ferraz, eu agradeço pela amizade e excelente parceria na construção de trabalhos científicos de qualidade.

Aos professores do PPGECT pela amizade e pelos conhecimentos compartilhados durante a realização das disciplinas.

Aos professores Dr. Awdry Feisser Miquelin, Dr. Nei Alberto Salles Filho, Dr.^a Lourdes Aparecida Della Justina e Dr.^a Elenise Sauer, eu agradeço pelas orientações, durante e após a realização das bancas de qualificação e defesa.

A todos os alunos que participaram desta pesquisa, ao amigo e diretor do Colégio Estadual Professor Julio César de Rebouças-PR, Prof. Wesley Molinari, e ao meu amigo e Professor de Ciências e Biologia, Prof. Dr. Jey Marinho de Albuquerque, eu agradeço imensamente pelos ótimos meses agradáveis de convivência e por todo o auxílio prestado durante o desenvolvimento desta pesquisa.

À CAPES pelo apoio financeiro.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

SANTOS, Fabio Seidel dos. **Programa neurocientífico para a aprendizagem significativa de genética**. 2018. 260 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

Este estudo teve como objetivo geral avaliar a eficiência de um Programa Neurocientífico de Ensino (PNE) para a aprendizagem significativa de Genética no Ensino Médio. O estudo foi desenvolvido durante todo o segundo semestre de 2015, nas aulas de Genética, conteúdo integrante da disciplina de Biologia. Participaram da pesquisa o professor responsável pela disciplina e 63 alunos do 3º ano do ensino médio, período da manhã, de uma escola pública de uma cidade do Centro Sul do Paraná. O processo de intervenção foi dividido em três grandes etapas: Avaliação Inicial, Aplicação do PNE e Avaliação Final. Durante a avaliação inicial, os alunos responderam a um questionário construído por Paiva e Martins (2005) para avaliar os seus conhecimentos prévios de Genética, o Questionário sobre Estilos de Aprendizagem (CAVALLO; SCHAFFER, 1994) e a Escala de Avaliação da Motivação para Aprendizagem (EMAPRE) de Zenorini (2007). Para a aplicação do PNE, as turmas foram divididas em dois grupos: Grupo Controle (GC) e Grupo Intervenção (GI). O GC recebeu os conteúdos de forma tradicional e o GI foi submetido ao PNE composto por diversas estratégias e recursos didáticos que visaram estimular as funções cognitivas, as emoções e a interação social. Durante a avaliação final, foi realizada uma avaliação do conhecimento de genética com os seguintes instrumentos: Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética (KILIÇ; SAGLAM, 2009) e Teste Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética (TSUI; TREAGUST, 2010). Na avaliação final também foi empregada uma breve avaliação cognitiva com o teste D2 de atenção (BRICKENKAMP, 2000) e com a Prova de Raciocínio Abstrato, um dos subtestes da Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) (ALMEIDA; PRIMI, 2015). Os resultados mostraram que ambos os grupos apresentaram poucos conhecimentos prévios sobre temas gerais da área de Genética, especialmente do conceito e das relações entre DNA, gene e cromossomos. Os alunos do GC apresentaram subsunçores mais coerentes e elaborados, além de maior interesse por conteúdos biológicos, motivação para a aprendizagem e inclinação para aprendizagem significativa do que os alunos do GI, porém isso não implicou em resultados melhores nos testes finais que avaliaram o conhecimento de Genética. Na realidade, os testes de conhecimento de Genética mostraram que a maioria dos alunos de ambos os grupos apresentaram pouco conhecimento de Genética Molecular e Mendeliana. A avaliação cognitiva também revelou dificuldades na capacidade de atenção concentrada e raciocínio abstrato. Apesar das limitações encontradas no desenvolvimento deste trabalho, pode-se concluir que o PNE foi efetivo para alguns alunos integrantes do GI, particularmente aqueles que demonstraram nos testes iniciais orientação para a aprendizagem significativa e inclinação para a meta performance-avoidance cuja literatura diz estar ligada ao baixo desempenho e dedicação. Desta forma, corrobora-se a hipótese geral desta pesquisa, ou seja, que os alunos expostos ao PNE apresentaram melhores resultados nos testes finais de Genética quando comparados aos alunos que não estiveram em contato com o programa. Contudo, ressalta-se que outros estudos deverão ser conduzidos com diferentes populações de alunos e com outros conteúdos abordados.

Palavras-chave: Neurociência. Aprendizagem significativa. Ensino de genética.

ABSTRACT

SANTOS, Fabio Seidel dos. **Neuroscientific teaching program for the meaningful learning of genetics**. 2018. 260 p. Thesis (Doctorate in Science and Technology Teaching) – Federal University Technology of Paraná, Ponta Grossa, 2018.

The present study aimed to evaluate the efficiency of a Neuroscientific Teaching Program (PNE) for the meaningful learning of Genetics in High School. The study was developed during the second semester of 2015, in the Genetics classes, the integral content of Biology discipline. Participated in the present research the teacher responsible for the discipline and 63 students from the 3rd year of high school, during morning classes of a public school in a city located in the Southern Center of Paraná State. The intervention process was divided into three main stages: Initial Evaluation, PNE Application, and Final Evaluation. During the initial evaluation, students answered an questionnaire developed by Paiva and Martins (2005) to evaluate the students' prior knowledge about some Genetics themes, the Learning Approach Questionnaire (CAVALLO; SCHAFER, 1994) and the Motivation Assessment Scale for Learning (EMAPRE) (ZENORINI, 2007). For PNE application, the students of the classes were allocated into two groups: Control Group (CT) and Intervention Group (GI). The CT received the contents of traditional form. The GI was submitted to PNE, composed of several educational strategies and resources aiming to stimulate the students' cognitive functions, emotions, and social interaction. During the final evaluation, students' genetic knowledge was examined by the following instruments: Two-Tier Genetics Concepts Test (KILIÇ; SAGLAM, 2009) and Two-tier Diagnostic Instrument for Genetics (TSUI; TREAGUST, 2010). Also, a brief cognitive evaluation was also performed with the D2 Test of Attention (BRICKENKAMP, 2000) and the Abstract Reasoning Test, one of the subtests of the Battery of Reasoning Tests (BPR-5) (ALMEIDA; PRIMI, 2015). The results showed both groups had little previous knowledge about general topics in the area of Genetics, especially the concept and relations between DNA, gene and chromosomes. The CT students presented more coherent and elaborate previous knowledge, as well as greater interest in biological contents, motivation for learning and inclination for meaningful learning than GI students. However, these features did not imply better results in the final tests that evaluated the knowledge of Genetics. In fact, genetic knowledge tests demonstrated the majority of students in both groups had little knowledge of Molecular and Mendelian Genetics. The cognitive assessment also revealed difficulties in the ability to concentrate attention and abstract reasoning. Despite the limitations found in the development of this work, it may be concluded that PNE was effective for some GI students, particularly those who showed, in initial tests, orientation for meaningful learning and inclination towards the "performance-avoidance" goal, which literature states to be linked to low performance and dedication. In this way, the general hypothesis of this research was corroborated, that is to say, the students exposed to PNE presented better results in the final Genetics tests when compared to the students who were not in contact with the program. However, it is important to highlight that other studies must be conducted with different populations of students and with other content addressed.

Keywords: Neuroscience. Meaningful learning. Teaching of genetics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação entre aprendizagem mecânica e significativa de acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel	58
Figura 2 – Mapa conceitual dos principais conceitos de genética trabalhados nesta tese	59
Figura 3 – Ilustração da hipotética estrutura da memória de três níveis hierárquicos.	62
Figura 4 – Modelo HTM do neocórtex.....	65
Figura 5 – Exemplo de Questão da Prova de Raciocínio Abstrato.....	77
Figura 6 – Atividade de colagem para o estudo do conceito de fenótipo.....	125
Figura 7 – Atividade de colagem para o estudo dos conceitos de genótipo e fenótipo.....	126
Figura 8A – Atividade para descobrir o genótipo dos gatos.....	127
Figura 8B – Atividade para descobrir o genótipo dos gatos.....	128
Figura 8C – Atividade para descobrir o genótipo dos camundongos.....	129
Figura 9 – Maquete do DNA.....	133
Figura 10 – Maquete do Cromossomo.....	134
Figura 11 – Maquete mostrando uma parte da divisão celular meiótica.....	135
Figura 12A – Heredograma produzido pelos alunos.....	137
Figura 12B – Heredograma produzido pelos alunos.....	137
Figura 13 – Roleta e envelopes.....	139
Figura 14 – Professor, dupla de competidores e mesa contendo a roleta com os envelopes.....	140
Figura 15 – Integrantes da plateia.....	141
Figura 16 – Troféus.....	141

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Pontuação média dos alunos, de ambas as turmas, em cada item do STAS.....	101
Gráfico 2 – Pontuação média dos alunos, de ambas as turmas, em cada item do STAM.....	104
Gráfico 3 – Diferença entre os resultados dos STAS e STAM para cada aluno da turma A.....	106
Gráfico 4 – Diferença entre os resultados dos STAS e STAM para cada aluno da turma B.....	107
Gráfico 5 – Pontuação média de ambas as turmas nos subtestes do EMAPRE.....	108
Gráfico 6 – Pontuação média dos alunos, de ambas as turmas, em cada item da MA do EMAPRE.....	109
Gráfico 7 – Pontuação média dos alunos, de ambas as turmas, em cada item da MPA do EMAPRE.....	112
Gráfico 8 – Pontuação média dos alunos, de ambas as turmas, em cada item da MPE do EMAPRE.....	114
Gráfico 9 – Resultados de cada aluno da turma A em cada meta do teste EMAPRE.....	116
Gráfico 10 – Resultados de cada aluno da turma B em cada meta do teste EMAPRE.....	116

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos e Características das Memórias.....	41
Quadro 2 – Ideias e conceitos dos alunos que foram averiguados nas questões do questionário.....	70
Quadro 3 – Os seis tipos de raciocínio requeridos no Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética.....	74
Quadro 4 – Referencial Teórico X Instrumento de Coleta de Dados X Objetivos Específicos.....	79
Quadro 5 – Resposta de cada aluno de ambas as turmas para cada item do STAS.....	102
Quadro 6 – Resposta de cada aluno, de ambas as turmas, para cada item do STAM	104
Quadro 7 – Resposta de cada aluno, de ambas as turmas, para cada item do subtteste MA do EMAPRE	110
Quadro 8 – Resposta de cada aluno, de ambas as turmas, para cada item do subtteste MPA do EMAPRE	112
Quadro 9 – Resposta de cada aluno, de ambas as turmas, para cada item do subtteste MPE do EMAPRE	114
Quadro 10 – Quadro de competições	139
Quadro 11 – Resultados de cada aluno em ambos os testes de genética	163
Quadro 12 – Médias referentes à atenção obtida no subgrupo de estudantes brasileiros da aplicação do Teste D2 – Atenção Concentrada	164
Quadro 13 – Desempenho de alunos turcos e ingleses no Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética	171
Quadro 14 – Desempenho de alunos australianos no Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética	171

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados obtidos no Questionário Avaliativo Inicial.....	83
Tabela 2 – Desempenho e frequência dos alunos, de ambas as turmas, no primeiro e segundo bimestres.....	84
Tabela 3 – Resultados do Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem.....	101
Tabela 4 – Comparação entre os resultados obtidos pelos alunos da turma A e B nos subtestes do EMAPRE.....	109
Tabela 5 – Resultados do Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética de Kiliç e Sağlam (2009)	143
Tabela 6 – Resultados do Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética de Tsui e Treagust (2010)	155
Tabela 7 – Resultados obtidos com ambos os grupos no teste de atenção D2.....	164
Tabela 8 – Estatísticas Descritivas obtidas com ambos os grupos no subteste de Raciocínio Abstrato do BPR-5.....	167
Tabela 9 – Média do desempenho e notas dos alunos no 3º e 4º bimestres.....	170

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AM – Aprendizagem Mecânica
AS – Aprendizagem Significativa
BOLD - Blood Oxygenation Level Dependent
BPR-5 – Bateria de Provas de Raciocínio
CPFRL - Córtex Pré-Frontal Rostro-Lateral
CTS – Ciência Tecnologia e Sociedade
DNA – Ácido Desoxirribonucleico
EF – Ensino Fundamental
EM – Ensino Médio
EMAPRE – Escala de Avaliação da Motivação para Aprendizagem
fMRI - Ressonância Magnética Funcional
GC – Grupo Controle
GI – Grupo intervenção
Gf – Inteligência Fluída
HTM - Memória Temporal Hierárquica
LAQ - Learning Approach Questionnaire
MA – Meta Aprender
MC – Mapa Conceitual
MPA – Meta Performance-aproximação
MPE – Meta Performance-evitação
PNE – Programa Neurocientífico de Ensino
RA – Raciocínio abstrato
RB – Resultado Bruto
RL – Resultado Líquido
SNC – Sistema Nervoso Central
STAM – Subteste Aprendizagem Mecânica
STAS – Subteste Aprendizagem Significativa
TA – Turma A
TAS – Teoria da Aprendizagem Significativa
TB – Turma B
TDAH - Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade
TICs – Tecnologias da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	21
1.2 OBJETIVO E HIPÓTESE GERAL.....	21
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
1.4 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	21
2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DE GENÉTICA	24
3 NEUROCIÊNCIA	33
3.1 NEUROCIÊNCIA: VISÃO GERAL.....	33
3.2 NEUROCIÊNCIA: ASPECTOS CONCEITUAIS.....	36
3.3 NEUROCIÊNCIA DA APRENDIZAGEM E MEMÓRIAS E DAS PRINCIPAIS FUNÇÕES COGNITIVO-EMOCIONAIS RELACIONADAS A ESSES PROCESSOS.....	37
3.4 NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO.....	48
4 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	53
4.1 ASPECTOS NEUROCIÊNCIAS IMPLICADOS NA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	60
5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	67
5.1 POPULAÇÃO E AMOSTRA.....	67
5.2 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS.....	67
5.3 PROCESSO DE INTERVENÇÃO.....	68
5.3.1 Avaliação Inicial.....	68
5.3.1.1 Caracterização do universo de pesquisa.....	68
5.3.1.2 Determinação dos conhecimentos prévios.....	69
5.3.1.3 Questionário sobre o estilo de aprendizagem - Learning approach questionnaire (LAQ).....	70
5.3.1.4 Escala de avaliação da motivação para a aprendizagem – EMAPRE.....	70
5.3.2 Aplicação do Programa Neurocientífico de Ensino.....	71
5.3.3 Avaliação Final.....	73
5.3.3.1 Avaliação do conhecimento de genética.....	73
5.3.3.1.1 <i>Teste dupla-camada de conceitos de genética</i>	73
5.3.3.1.2 <i>Teste dupla-camada para o diagnóstico de genética</i>	74

5.3.3.2 Avaliação cognitiva.....	75
5.3.3.2.1 <i>Teste de atenção D2</i>	75
5.3.3.2.2 <i>Prova de raciocínio abstrato (RA)</i>	76
5.4 TRATAMENTO DOS DADOS.....	78
5.5 RELAÇÕES ENTRE OS CONTEÚDOS ABORDADOS, INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS E OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	79
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
6.1 AVALIAÇÃO INICIAL.....	82
6.2 AVALIAÇÃO DOS SUBSUNÇORES DE GENÉTICA.....	84
6.2.1 Conhecimentos sobre a interação entre Genoma-ambiente, assim como o entendimento sobre o desenvolvimento científico da Biologia Molecular (Questões 1 e 8)	85
6.2.2 Conhecimentos sobre a estrutura e organização do material genético de diferentes organismos (Questões 2, 3, 4, 5 e 7)	90
6.2.3 Capacidade de relacionar os conhecimentos científicos com questões do cotidiano e, também, com o desenvolvimento científico da Biologia Molecular. (Questões 6, 9 e 10)	97
6.3 AVALIAÇÃO DO ESTILO DE APRENDIZAGEM DOS ALUNOS.....	100
6.4 AVALIAÇÃO DA MOTIVAÇÃO PARA A APRENDIZAGEM.....	107
6.5 APLICAÇÃO DO PROGRAMA NEUROCIENTÍFICO DE ENSINO.....	117
6.6 AVALIAÇÃO DO CONHECIMENTO DE GENÉTICA.....	143
6.6.1 Questões relacionadas ao conhecimento do conceito de gene.....	144
6.6.2 Questões relacionadas ao conhecimento do conceito de cromossomo.....	145
6.6.3 Questões acerca do entendimento das relações entre gene, cromossomo e DNA.....	146
6.6.4 Questões envolvendo o entendimento das relações entre divisões celulares e herança genética.....	147
6.6.5 Questão de Raciocínio Genético Tipo I (item 1).....	156
6.6.6 Questões de Raciocínio Genético Tipo II (itens 6 e 11).....	156
6.6.7 Questões de Raciocínio Genético Tipo III (itens 2 e 8).....	157
6.6.8 Questões de Raciocínio Genético Tipo IV (itens 3 e 9).....	158
6.6.9 Questões de Raciocínio Genético Tipo V (itens 7 e 12).....	159
6.6.10 Questões de Raciocínio Genético Tipo VI (itens 4, 5 e 10).....	161
6.7 AVALIAÇÃO COGNITIVA.....	163

6.8. NOTAS E FREQUÊNCIA DOS ALUNOS NO 3° E 4° BIMESTRE.....	170
6.9 LIMITAÇÕES ENCONTRADAS NESTE ESTUDO.....	177
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	181
REFERÊNCIAS.....	185
APÊNDICE A – Termo de Autorização Institucional.....	201
APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	203
APÊNDICE C – Termo de Assentimento Informado Livre e Esclarecido.....	210
APÊNDICE D – Questionário Avaliativo Inicial.....	216
APÊNDICE E – Atividades para o estudo do genótipo e fenótipo.....	218
APÊNDICE F – DNA e cromossomo.....	222
APÊNDICE G – Palavra cruzada.....	224
APÊNDICE H – Atividade sobre a Segunda Lei de Mendel.....	227
APÊNDICE I – Huntinina.....	230
APÊNDICE J – Mapa Conceitual.....	232
APÊNDICE L – Jogo das 3 Pistas – Dicas e Resposta.....	234
ANEXO A – Questionário para Avaliação de Conhecimentos Prévios.....	238
ANEXO B – Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem – Learning Approach Questionnaire (LAQ).....	240
ANEXO C – Escala de Avaliação da Motivação para Aprendizagem (EMAPRE).....	242
ANEXO D - Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética - <i>Two-tier Genetics Concepts Test</i> (TGCT).....	244
ANEXO E - Teste Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética - <i>Two-tier Diagnostic Instrument for Genetics</i>	252

1 INTRODUÇÃO

A Neurociência está presente em minha vida pessoal, acadêmica e profissional há muito tempo. Um acidente de mergulho há mais de 20 anos, trouxe-me sequelas neurológicas permanentes, no entanto, também me despertou um interesse particular ao estudo do cérebro e suas relações com o comportamento e cognição.

Após a minha reabilitação física e, também, psicológica, os estudos foram retomados, e a opção foi pela Graduação em Psicologia, tendo em vista a relação desta carreira com a Neurociência, particularmente com a Neuropsicologia. Logo após a graduação, dediquei-me à especialização em Neuropsicologia. Em seguida, cursei o Mestrado Acadêmico em Ciências Biológicas, com pesquisa vinculada à área da Neurociência do Comportamento, Aprendizagem e Memória.

O Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia me propôs um novo e interessante desafio: aplicar o conhecimento Neurocientífico no âmbito de Ensino. Embora na atualidade exista um grande alvoroço em relação aos benefícios das Neurociências em diversos âmbitos, consultas frequentes na literatura comprovaram que são poucos os pesquisadores que se dedicam à Neurociência, Ensino e Educação no Brasil. Há poucas publicações em revistas científicas, sendo que a maioria dos trabalhos se encontra em livros, teses, dissertações e anais de eventos.

Existem vários projetos que visam aproximar o conhecimento neurocientífico ao campo do ensino e educação, como os projetos Cuca Legal, fundado em 2006 pelo Departamento de Psiquiatria da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) e o Neuroeduca, fundado em 1994 pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Este último é coordenado pela Prof.^a Dr.^a Leonor Bezerra Guerra, talvez uma das pioneiras na divulgação da Neurociência na Educação, no Brasil.

As publicações são ainda mais escassas quando se considera, especificamente, a área de Neurociência e Ensino. Segundo Guy e Byrne (2013), existem discussões consideráveis acerca da relação entre estas áreas, porém poucos resultados da sua aplicação no ensino. Os autores ressaltam que, um desenvolvimento científico mais consistente, pode exigir a integração interdisciplinar de pesquisas na área de Psicologia, Neurociência e Educação, principalmente porque, atualmente, não existe um consenso claro sobre a natureza da aprendizagem.

A partir de um levantamento bibliográfico na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), usando termos como Neurociência e Ensino, percebeu-se que são raros os estudos que visam à aplicação do conhecimento neurocientífico em sala de aula. Entre os poucos estudos encontrados, destaca-se a tese de Fischer (2001), em que a pesquisadora utilizou uma abordagem neuropedagógica para a alfabetização de pessoas com necessidades educativas especiais e a dissertação de Maiato (2013), cuja pesquisadora analisou a influência de atividades práticas (experimentos em laboratório) na aprendizagem, tomando como referência aspectos neurobiológicos.

Em uma procura minuciosa em um site de busca (Google®) encontrou-se a dissertação de Silva (2012) que descreve os resultados positivos da aplicação de um programa contendo estratégias pedagógicas fundamentadas no conhecimento neurocientífico. De acordo com os resultados desta dissertação, o referido programa melhorou a prática educativa e estimulou positivamente as áreas cerebrais implicadas nos processos de leitura e escrita de alunos do 3º ano do Ensino Fundamental (EF) (SILVA, 2012).

É possível estabelecer várias relações entre Neurociência e Ensino de Ciências, incluindo a formação de professores com o conhecimento da Neurociência, bem como de pesquisadores preocupados com a produção de conhecimento neurocientífico destinado aos profissionais do ensino e educação (ANSARI; COCH, 2006).

Retornando às minhas motivações acadêmicas para o desenvolvimento da presente tese sob o título de “PROGRAMA NEUROCIÊNCIA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE GENÉTICA”, a ideia de relacionar a Neurociência, particularmente ao Ensino de Genética, também foi bastante influenciada por uma experiência no ensino deste conteúdo para acadêmicos de Psicologia nos anos de 2010 e 2011. Esta breve experiência mostrou-me um intenso desinteresse dos alunos, e identifiquei por parte deles, uma considerável dificuldade em compreender os conceitos e processos básicos da área, como o conceito e as relações entre DNA (Ácido Desoxirribonucleico), gene e cromossomos, replicação e transcrição do DNA, síntese de proteínas e regulação gênica.

De fato, a literatura científica relata uma considerável dificuldade demonstrada pela maioria dos alunos do ensino médio e graduação para entender conceitos básicos de Genética, que é um conteúdo complexo e abstrato e com um vocabulário

bastante específico. No entanto, o entendimento deste conteúdo é essencial para a compreensão de temas ainda mais complexos, tanto de Genética quanto de Biologia Molecular, bem como para um posicionamento crítico diante das tecnologias emergentes destas áreas, as quais, muitas vezes, suscitam questionamentos éticos, morais, políticos, religiosos e econômicos, negligenciados pelos cientistas e desconhecidos pela sociedade em geral (SANTOS *et al.*, 2016).

Segundo autores como Cardoso *et al.* (2010) e Martinez *et al.* (2008), o conteúdo de Genética é marcado pela dificuldade de entendimento pelos alunos, pois trata-se de um conteúdo complexo, específico, cujas ideias exigem um elevado grau de raciocínio e abstração para serem compreendidas. Estudos revelam que, nem mesmo os conceitos básicos da área, como a relação entre gene e cromossomo e a finalidade das divisões celulares por mitose e meiose, são compreendidas pelos alunos ao final do ensino médio (SCHEID; FERRARI, 2006).

Além da complexidade intrínseca do tema, a forma tradicional de transmissão dos conteúdos desta área promove o desinteresse e a aprendizagem mecânica (AM) ou memorística, facilitando o esquecimento e impossibilitando a generalização para outros contextos (CARDOSO *et al.*, 2010). Somado a isto, os livros didáticos, que passam por constantes revisões, ainda apresentam erros conceituais, utilização inadequada de imagens e textos verbais, tornando a aprendizagem ainda mais prejudicada (MELO; CARMO, 2009).

Para piorar a situação, conforme Melo e Carmo (2009), estudos mostram que é reduzido o número de publicações voltadas ao ensino de Genética e Biologia Molecular para o ensino médio brasileiro. Desta forma, é essencial aumentar o número de investigações acerca das abordagens de ensino nas áreas biológicas, bem como disponibilizar os resultados destas pesquisas à comunidade escolar e sociedade em geral.

Pesquisas apontam que, para o ensino de conteúdos complexos e abstratos, como Genética e Biologia Molecular, são necessárias estratégias pedagógicas que contribuam para um aprendizado mais duradouro, significativo e não mecânico ou automático. Os métodos inovadores que envolvam instrumentos lúdicos, como jogos e modelos didáticos já foram evidenciados como eficazes no ensino de Genética (CERQUEIRA *et al.*, 2013; JUSTINA; FERLA, 2006; SALIM *et al.*, 2007). Estes instrumentos, além de complementarem o conteúdo teórico tradicional, permitem uma

maior interação entre conhecimento, professor e aluno, trazendo importantes contribuições ao processo de ensino-aprendizagem (MARTINEZ *et al.*, 2008).

De fato, conforme Justina e Rippel (2004), para a alfabetização científica e tecnológica em genética, importa que:

(...) sejam ultrapassados os fatores limitantes na atividade pedagógica que são: a abordagem fragmentada e descontextualizada dos tópicos; o livro didático como único recurso didático-metodológico e o estudo da genética mendeliana em detrimento da genética moderna. Tal superação pode estar associada a uma dinâmica de aula capaz de estimular o interesse dos alunos, de instigá-los a resolver os problemas que devem emergir das próprias atividades, organizadas e orientadas pelo professor para a compreensão de um conceito e dos procedimentos envolvidos. Desta forma, irá ser proporcionado o confronto entre as concepções dos alunos e os conceitos científicos no assunto que está sendo tratado, e a possibilidade, também, da inserção de temáticas atuais (JUSTINA; RIPPEL, 2004, p. 8).

E, para aumentar a qualidade das análises e reflexões geradas na presente tese, foi realizada uma aproximação teórica entre o conhecimento neurocientífico e a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Além disso, é importante ressaltar que a aproximação entre o conteúdo da Neurociência e da Teoria da Aprendizagem Significativa no Ensino de Genética atribui um caráter inovador e inédito para a presente pesquisa.

Os conhecimentos neurocientíficos em associação à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel¹ podem ser utilizados na compreensão dos processos neurocognitivos envolvidos no processo de ensino-aprendizagem. Esta interação é possível porque a teoria de Ausubel é essencialmente cognitiva, e conforme resalta Kandel *et al.* (2003, p. 1165), a Neurociência atual é a Neurociência Cognitiva, “*um misto de conhecimentos da neurofisiologia, anatomia, biologia desenvolvimentalista, biologia celular e molecular e psicologia cognitiva*”.

Em 2016, nossa equipe de trabalho publicou na Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia (RBECT) o artigo intitulado “Interlocução entre Neurociência

¹David Paul Ausubel (1918-2008), médico psiquiatra de formação, dedicou grande parte da sua carreira acadêmica a uma visão cognitivista da psicologia educacional. Sua teoria da aprendizagem significativa tem sido amplamente divulgada por Joseph D. Novak e Marco Antonio Moreira (MOREIRA, 2012).

e Aprendizagem Significativa: uma proposta teórica para o ensino de Genética”. Neste artigo, concluímos que:

(...) os conceitos centrais da Teoria da Aprendizagem Significativa (estrutura cognitiva, conhecimentos prévios, aprendizagem mecânica e significativa, mapas conceituais) apresentam um forte correlato neurofisiológico, por isso a interlocução entre Neurociência e Aprendizagem Significativa é possível. Diante disso, conclui-se que a Neurociência associada à Teoria da Aprendizagem Significativa resulta em uma abordagem neurocognitiva, que possibilita uma melhor compreensão dos mecanismos neurais e cognitivos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem e, a partir disso, pode oferecer subsídios teóricos e práticos importantes para o trabalho docente, facilitando a aprendizagem significativa de Genética (SANTOS *et al.*, 2016, p. 149)

A neurociência cognitiva proporciona subsídios teóricos importantes para o trabalho docente, podendo contribuir para a aprendizagem significativa (AS) em diversos campos de ensino. A partir do conhecimento do funcionamento cerebral e das diferentes estruturas neurais implicadas na aprendizagem, os docentes têm um melhor entendimento dos processos de ensino e aprendizagem, podendo assim, desenvolver estratégias de ensino que amplifiquem a aprendizagem dos alunos, tornando a atividade de ensinar mais prazerosa (CARVALHO, 2011). Entretanto, é preciso ter cautela, pois o conhecimento neurocientífico complementa a prática pedagógica que já é realizada e não promete uma receita para a elaboração de uma estratégia pedagógica infalível, nem soluções definitivas para as dificuldades de aprendizagem (GUERRA, 2011).

Vale lembrar que a Neurociência apresenta um *status* pouco satisfatório quanto a sua aplicação direta em sala de aula, com resultados insatisfatórios. Mesmo assim, é importante ressaltar que diversos autores defendem e incentivam a utilização em sala de aula do conhecimento neurocientífico (BENARÓS *et al.*, 2010; CARVALHO, 2011; CONSENZA; GUERRA, 2011; GUERRA, 2011).

Enfim, segundo Santos *et al.* (2016), a Neurociência, quando associada à Teoria da Aprendizagem Significativa, proporciona uma abordagem neurocognitiva do processo de ensino-aprendizagem, oferecendo subsídios teóricos e práticos importantes para o trabalho docente, podendo facilitar a aprendizagem significativa em diversos campos com conteúdos abstratos e complexos, como os da Genética.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Diante das questões expostas, esta pesquisa busca responder ao seguinte problema: Qual a eficiência de um Programa Neurocientífico de Ensino para a aprendizagem significativa de Genética no Ensino Médio?

1.2 OBJETIVO E HIPÓTESE GERAL

- Objetivo geral: Avaliar a eficiência de um Programa Neurocientífico de Ensino para a aprendizagem significativa de Genética no Ensino Médio.
- Hipótese geral: Os alunos expostos ao Programa Neurocientífico de Ensino apresentam melhores resultados nos testes finais de Genética quando comparados aos alunos que não estiveram em contato com o programa.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar os conhecimentos prévios (subsunçores) dos alunos acerca de conhecimentos básicos de Genética.
- Avaliar o interesse por conteúdos biológicos, motivação e estilo de aprendizagem dos alunos.
- Analisar a eficiência da aplicação de um jogo didático, produto desta pesquisa, para avaliação de conceitos básicos de genética no período pós-intervenção.
- Verificar a influência de aspectos cognitivos na aprendizagem de Genética.
- Relacionar os dados obtidos pelos instrumentos de coleta de dados no período pré-intervenção com os resultados obtidos nos testes de conhecimentos de genética aplicados no período pós-intervenção.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta tese apresenta-se organizada em sete capítulos. O primeiro capítulo é composto pela introdução, o problema de pesquisa, objetivo e hipótese geral, os objetivos específicos e a organização desta tese, em capítulos.

O segundo capítulo intitulado “Considerações sobre o Ensino de Genética”, discorre sobre os aspectos conceituais e históricos dessa ciência em constante evolução, as principais dificuldades encontradas pelos professores e alunos no ensino e aprendizagem de Genética, a importância social de entender os conceitos básicos desta ciência, bem como as principais estratégias didáticas utilizadas pelos professores para superar as dificuldades no ensino de Genética no Ensino Médio (EM).

O terceiro capítulo é intitulado “Neurociências”. A primeira seção deste capítulo intitula-se “Neurociências: visão geral”. Nesta seção, é apresentado um panorama histórico das Neurociências, a relação desta ciência com o desenvolvimento tecnológico, o crescente interesse dos cientistas e da população geral pelo estudo e notícias sobre o cérebro. Aborda, também, alguns dos principais cientistas que marcaram a história dessa ciência, apresenta a Neurociência no Brasil e, finaliza, discorrendo sobre alguns dos principais benefícios e malefícios gerados por essa ciência emergente.

A segunda seção do capítulo terceiro é intitulada “Neurociência: aspectos conceituais”. Nesta seção, é estabelecido, principalmente, o conceito de Neurociência, identifica os neurocientistas e, conclui, com um breve relato sobre a Neurociência Cognitiva, origem, conceito e principais temas estudados.

A terceira seção do capítulo terceiro apresenta o seguinte título: “Neurociência da Aprendizagem e Memórias e das principais funções cognitivo-emocionais relacionadas a esses processos”. Nesta seção, encontra-se o conceito de aprendizagem e sua distinção do conceito de memória na visão neurocientífica, as memórias e seus correlatos anatômicos, a inteligência fluída, a influência das emoções e motivação no aprendizado, o conceito de neuroplasticidade e o esquecimento na visão neurocientífica.

A quarta seção do capítulo terceiro é intitulada “Neurociência e Educação” e aborda a importância do conhecimento neurocientífico para os educadores, identificando as condutas, estratégias e recursos didáticos baseados nesse conhecimento que os professores podem adotar para otimizar o processo de ensino-aprendizagem. Menciona alguns “neuromitos” e, finaliza, afirmando que há uma escassez de estudos na área da Neurociência da Educação aliada à inserção limitada deste conhecimento na formação inicial dos professores.

O quarto capítulo desta tese apresenta o seguinte título: “A Teoria da Aprendizagem Significativa”. Como o próprio nome diz, este capítulo aborda a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, seus principais conceitos (subsunçores, estrutura cognitiva, entre outros), a distinção entre aprendizagem significativa e mecânica, os tipos de aprendizagem significativa, e menciona os organizadores prévios e os mapas conceituais.

A primeira seção do quarto capítulo é intitulada “Aspectos neurocientíficos implicados na Teoria da Aprendizagem Significativa”. Nesta seção, buscou-se estabelecer uma correlação entre os conceitos centrais da Teoria da Aprendizagem Significativa com aspectos anatômicos e fisiológicos do Sistema Nervoso Central (SNC).

O quinto capítulo desta tese relata os Procedimentos Metodológicos desta pesquisa. Assim, busca descrever a população estudada, os instrumentos de coleta de dados (questionários, escalas e testes utilizados no período pré e pós intervenção), a aplicação e características do Programa Neurocientífico de Ensino, bem como o tratamento dos dados obtidos.

O sexto capítulo se refere aos “Resultados e Discussões”, e como o próprio nome diz, apresenta os resultados obtidos pelos instrumentos de coleta de dados e pela aplicação do Programa Neurocientífico de Ensino.

O sétimo capítulo intitulado “Considerações finais” apresenta as principais conclusões obtidas neste trabalho de pesquisa.

2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DE GENÉTICA

A genética é uma ciência em constante transformação. Nunca se viu uma área produzir tanto conhecimento científico quanto a genética. O enorme acervo de conhecimentos científicos da genética vem sendo construído desde o estabelecimento das leis da hereditariedade por Mendel em 1865, a estrutura molecular do DNA por Watson e Crick em 1953, as contribuições de cientistas como Rosalind Franklin e Maurice Wilkins para o conhecimento da estrutura da dupla hélice do DNA, os mecanismos envolvidos na regulação gênica, o isolamento de genes de interesse, técnicas de DNA recombinante e PCR (reação em cadeia da polimerase) até o desenvolvimento de métodos para sequenciar ácidos nucleicos e proteínas (NUNES, 2010). Nas palavras de Temp (2013),

A genética é uma das áreas das ciências que apresentou maior progresso no último século, investigando e estabelecendo as regras da hereditariedade e das mudanças que ocorrem em nível molecular dos organismos. O conhecimento sobre genética é importante porque envolve aspectos culturais, sociais, educacionais e de saúde, sendo que a correta compreensão dos temas pode levar à erradicação de preconceitos com relação, por exemplo, à cor da pele ou doenças hereditárias (TEMP, 2013, p. 4).

O conceito de gene, talvez o mais central na genética, encontra-se em crise, conforme afirmam autores como Joaquim e El-Hani (2010). Esta crise se refere ao conceito molecular clássico, que está presente na maioria dos livros didáticos de Biologia e, até mesmo, no glossário do site oficial Projeto Genoma Humano (PGH) (JOAQUIM; EL-HANI, 2010).

A concepção molecular clássica considera o gene como uma unidade estrutural e funcional, composta por uma sequência de nucleotídeos contínua no DNA que codifica um produto, que pode ser uma RNA ou um polipeptídeo. É uma concepção que leva em conta a relação 1:1:1 entre um gene, um produto proteico e uma função (PITOMBO et al., 2007; JOAQUIM; EL-HANI, 2010).

Contudo, estudos experimentais conduzidos pela Biologia Molecular nas últimas décadas desafiam a preservação dessa concepção. Há descobertas²

²Neste trabalho, assim como no de Patiño (2017), o uso do termo “descoberta” “se refere ao ato de trazer para o mundo do conhecimento científico um fenômeno novo” (PATIÑO, 2017, p.14). Assim, concebe-se “descoberta” como resultante de um fenômeno biológico estudado a partir de novas

importantes como a dos genes interrompidos e *splicing* alternativo, em que um único gene pode codificar várias proteínas diferentes que desafiam a manutenção da definição molecular clássica (JOAQUIM; EL-HANI, 2010; PITOMBO *et al.*, 2007). Segundo Patiño (2017), em células somáticas acontecem rearranjos genômicos, os quais produzem produtos gênicos alternativos. Em outras palavras, várias regiões do DNA se combinam para gerar produtos gênicos bastante diversificados.

A Enciclopédia de Elementos do DNA (ENCODE) e autores como Joaquim e El-Hani (2010), apontam para a necessidade da revisão e reformulação do conceito de gene, pois uma definição única, frente a todas as descobertas, é impossível.

Nas palavras de Joaquim e El-Hani (2010),

Em ciências tão diversificadas, tais como a genética e a biologia molecular, que abrangem uma diversidade de campos de investigação, parece razoável pensar que uma variedade de modelos e definições de genes, com domínios bem delimitados de aplicação, pode dar conta de maneira mais apropriada das tarefas epistêmicas levadas a cabo pelos pesquisadores, do que uma definição ou modelo universal (JOAQUIM; EL-HANI, 2010, p.24)

A todo o momento somos “bombardeados” pela mídia com informações científicas de diversos campos. Os conceitos da área de genética (DNA, cromossomo, genoma, clonagem, transgênicos entre outros) transpassaram os muros acadêmicos e são discutidos em jornais e revistas de ampla circulação ou em programas de entretenimento veiculados pela tevê ou pelo rádio (BRASIL, 2000).

Nas escolas públicas brasileiras os conteúdos de genética são ensinados no 3º ano do ensino médio. Entretanto, este conteúdo quando apresentado através de aulas expositivas tradicionais não é bem aceito pela maioria dos alunos, pois se trata de um vocabulário amplo, complexo e muito específico e, muitas vezes, os conceitos acabam sendo decorados pelos alunos, ao invés de compreendidos, diferenciados e relacionados com a vida prática (KREUZER; MASSEY, 2002; SALIM *et al.*, 2007). Além disso, as constantes descobertas científicas da área geram um grande número de informações que nem sempre são publicadas de maneira correta nos livros didáticos destinados ao ensino médio no Brasil (VILAS-BOAS, 2006).

Estudos revelam que nem mesmo os conceitos fundamentais de genética são compreendidos pelos alunos ao final do ensino médio. Os estudantes têm dificuldades

perspectivas de pesquisas, possibilitando novos modelos explicativos. Neste trabalho, não serão abordados os debates epistemológicos e filosóficos acerca da utilização do termo “descoberta”.

em relacionar gene e cromossomo, de compreender a finalidade das divisões celulares por mitose e meiose (SCHEID; FERRARI, 2006), apresentam concepções errôneas acerca do significado e função das proteínas (CARVALHO *et al.*, 2012), dos processos pelos quais a informação genética é transferida de célula a célula e das estruturas envolvidas neste processo (LEWIS; WOOD-ROBINSON, 2000).

Os conceitos básicos de Genética também são mal compreendidos por alunos da própria graduação, desde futuros profissionais da área de saúde (dentistas, fonoaudiólogos, médicos, nutricionistas e psicólogos) até futuros professores de Ciências e Biologia (INFANTE-MALACHIAS *et al.* 2010). Na realidade, segundo Fabricio *et al.* (2006), os alunos chegam despreparados à graduação, pois apenas decoraram ou memorizaram os conceitos de genética para as avaliações durante o Ensino Médio. Assim, sem os subsunçores de genética ancorados em sua estrutura cognitiva, estes alunos não conseguem seguir o ritmo da turma, aprender novos conceitos ainda mais complexos e, fatalmente, acabam repetindo as mesmas estratégias de memorização de conceitos que apresentaram no EM.

Fabricio *et al.* (2006), ao comparar as dificuldades em compreender a transmissão dos caracteres hereditários, regidos pelas leis de Mendel em alunos do EM e licenciandos em Ciências Biológicas, observaram que nestes últimos,

(...) os erros eram diversificados, demonstrando que esses alunos obtiveram, durante o curso superior, um aumento no número das informações, porém as mesmas estão soltas e, esses licenciandos não conseguem relacionar as informações obtidas aos fatos relativos à transmissão dos caracteres hereditários, num contexto fora da sua sala de aula (FABRÍCIO *et al.*, 2006, p. 99)

Schneider *et al.* (2013), a partir da aplicação de um módulo didático, verificaram que os estudantes do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas demonstram dificuldade para integrar conceitos científicos (como genes) aos processos biológicos mais complexos. Segundo as pesquisadoras, em decorrência de uma intervenção pedagógica, percebeu-se que os estudantes passaram de uma visão mais determinista - a de que o gene comanda todos os processos metabólicos - para uma visão mais sistêmica, ou seja, de que não são exclusivamente os genes, mas que também há outras moléculas envolvidas, como os promotores e sinalizadores. Entretanto, mesmo em contato com definições alternativas, o conceito molecular clássico de gene ainda foi predominante.

Compreender os conceitos básicos de genética (DNA, cromossomo, gene, mitose, meiose e fluxo da informação genética) é fundamental para o entendimento das novas tecnologias da área (JUSTINA; FERLA, 2006). A dificuldade de entendimento gera um estado de alienação por parte de um grande número de alunos egressos do Ensino Médio, os quais não apresentam um entendimento suficiente para posicionar-se em relação às tecnologias emergentes desta área, como a triagem genética e alimentos geneticamente modificados (FREIDENREICH *et al.*, 2011; MOURA *et al.*, 2013).

Além da complexidade intrínseca do tema, a forma tradicional de transmissão dos conteúdos de Genética promove o desinteresse e a aprendizagem mecânica ou “decoreba”, com o conseqüente esquecimento e impossibilidade de generalização para outros contextos (CARDOSO *et al.*, 2010). Somado a isto, os livros didáticos, que passam por constantes revisões, ainda apresentam erros conceituais, utilização inadequada de imagens e textos verbais, tornando a aprendizagem ainda mais prejudicada (MELO; CARMO, 2009), o que certamente demanda maior acuidade dos docentes na sua seleção. Além disso, os livros didáticos, predominantes nas escolas brasileiras, precisam abordar assuntos atuais, por exemplo, engenharia genética, possibilitando aos alunos dialogar e se posicionar sobre o assunto (TEMP, 2013).

Chu e Reid (2012) citam cinco principais fontes de dificuldades em compreender os conceitos de genética: (1) experiências anteriores negativas com a aprendizagem de conceitos científicos, (2) complexidade do conteúdo, (3) vocabulário ou terminologia difícil, (4) materiais de apoio inseguros e (5) inadequação pedagógica. A literatura científica também ressalta que compreender genética é difícil porque se trata de um conteúdo bastante abstrato (KILIC; SAGLAM, 2014).

Os conteúdos abstratos de genética são difíceis de serem entendidos porque o aluno precisa processar várias ideias ao mesmo tempo, algo que pode facilmente causar sobrecarga mental (CHU; REID, 2012). Alguns autores afirmam que a dificuldade em compreender conceitos complexos e abstratos está vinculada a problemas no processamento cerebral, como limitações na memória de trabalho (REID, 2009a; 2009b). Em um estudo recente, pesquisadores observaram que a sobrecarga da memória de trabalho está intimamente relacionada ao desempenho inferior dos alunos em genética, e que a reestruturação da abordagem de ensino visando minimizar a sobrecarga mental melhora significativamente o desempenho destes no referido conteúdo (CHU; REID, 2012).

Os estudantes tendem a aprender conceitos de Genética mecanicamente ou por “decoreba” e não realizam inter-relações com as situações do cotidiano. Utilizando testes de raciocínio formal (Test of Logical Thinking), orientação para aprendizagem (Learning Approach Questionnaire) e entendimento de conceitos básicos de Genética (Two-tier Genetics Concepts Test), Kiliç e Saglam (2014) verificaram que estudantes com habilidades de raciocínio mais elaboradas e orientação para aprendizagem significativa apresentam melhor compreensão de conceitos de Genética do que alunos com baixa capacidade de raciocínio e orientação para aprendizagem mecânica. Os pesquisadores sugerem que os alunos precisam ser orientados a adotar uma inclinação para a aprendizagem significativa e encorajados a realizar conexões entre os conhecimentos prévios e novos, bem como acreditam que a compreensão de Genética pode ser melhorada com uma ampliação da capacidade de raciocínio dos alunos.

As dificuldades em ensinar e aprender genética têm sido abundantemente exploradas, porém tem havido pouco interesse no desenvolvimento de estratégias para lidar com as mesmas. A separação de assuntos (como herança genética e reprodução) contribui para a natureza abstrata da genética, enquanto que os diferentes níveis de organização biológica contribuem para a sua natureza complexa (KNIPPELS *et al.*, 2005). Buscando superar estes problemas, Knippels *et al.* (2005) desenvolveram uma estratégia de ensino fundamentada em quatro critérios:

1. O ensino de genética precisa ser sequenciado, ou seja, iniciando-se ao nível mais fundamental do organismo e prosseguindo, gradualmente, para níveis mais específicos, como o nível celular;
2. É fundamental explicitar as conexões entre meiose e herança genética;
3. É preciso fazer a distinção entre células somáticas e gaméticas dentro do contexto do ciclo de vida;
4. Os alunos devem explorar ativamente as relações entre os níveis de organização biológica do organismo.

A genética envolve um conteúdo abstrato, que exige o uso de recursos didáticos diferenciados, os quais possibilitem a aprendizagem significativa do conteúdo que precisa estar vinculado às questões do cotidiano do aluno (TEMP, 2013). Experiências bem-sucedidas têm sido relatadas por professores que buscam contextualizar o ensino de genética, pois o aluno torna-se mais interessado quando o

assunto é vinculado com questões do seu cotidiano (CAMARGO; INFANTE-MALACHIAS, 2007).

Encontram-se nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCNs) orientações de que o currículo deve ser organizado conforme as características dos estudantes e particularidades do ambiente onde vivem, ou seja, o currículo precisa ser contextualizado, incluindo os componentes obrigatórios e outros “mais flexíveis” que atendam aos interesses, necessidades e características dos alunos (BRASIL, 2013). Assim, o ensino de conteúdos de genética, para ganhar contexto e realidade, deve ser associado a questões reais da atualidade, como preconceito racial, clonagem terapêutica, cultivos transgênicos entre outros, e os professores precisam estimular seus alunos a desenvolverem competências e habilidades para poder analisar, se posicionar e argumentar diante destas questões éticas, políticas, econômicas, religiosas e morais (BRASIL, 2000).

Um estudo conduzido por Tsui e Treagust (2004) analisou a aprendizagem conceitual de genética partindo de uma perspectiva ontológica. Ao longo de um período de seis semanas, o professor ensinou conceitos de genética e engajou seus alunos em atividades de um programa computacional integrativo, denominado “Biologica”. Os resultados demonstraram pouco sucesso nesta intervenção, pois a maioria dos alunos não adquiriu concepções mais sofisticadas dos conceitos de genética (por ex. conceito de gene).

A estratégia de mapeamento conceitual mostrou-se eficiente em promover a aprendizagem significativa em diversos campos. Okebukola e Jegede (1989) mostraram que esta técnica contribuiu para reduzir os níveis de ansiedade e atitude negativa de estudantes de biologia em relação a conceitos de genética e ecologia, áreas tradicionalmente temidas pelos alunos do ensino médio e graduação.

Também é tarefa dos professores motivar seus alunos ao aprendizado significativo de genética, estimular a criatividade e a busca de respostas para suas questões. A utilização de recursos didáticos diferenciados (jogos e modelos didáticos, histórias em quadrinhos, internet, charges entre outros), já se mostraram eficazes no ensino de genética (CERQUEIRA *et al.*, 2013; JUSTINA; FERLA, 2006; SALIM *et al.*, 2007). Estes recursos são importantes para o trabalho de conceitos teóricos e práticos e permitem uma maior interação entre conhecimento/professor/aluno, trazendo importantes contribuições ao processo ensino-aprendizagem (MARTINEZ *et al.*, 2008).

Os jogos e vídeos educativos, bem como outros instrumentos lúdicos, são importantes ferramentas para complementar o ensino e a aprendizagem de Genética, revelando-se como elementos motivadores e facilitadores, como bem observaram Oliveira *et al.* (2012) sobre o uso de vídeos educativos. De igual importância, Braga e Matos (2013) construíram e aplicaram um jogo denominado Kronus, com intuito de trabalhar conteúdos de Biotecnologia e revisar conceitos de Genética com alunos da terceira série do Ensino Médio de uma escola pública. A partir da percepção dos alunos, os pesquisadores observaram e concluíram que esta ferramenta lúdica é importante para despertar o interesse dos alunos pelo conteúdo de Genética, além de promover descontração e diversão.

Estratégias de ensino usando modelagens e sequências didáticas também vêm sendo empregadas com os alunos. Rodrigues (2012), utilizando materiais alternativos (garrafas PET, papelão, alumínio, vidro, massa de modelar, cartolina, isopor, madeira, etc), criou modelagens didáticas representativas de conteúdos básicos de Genética (síntese de proteínas, duplicação do DNA, divisão celular e núcleo celular) e verificou, por meio desses recursos, a possibilidade de despertar um maior envolvimento e compreensão do conteúdo proposto.

Sousa e Teixeira (2014), por outro lado, desenvolveram e aplicaram uma sequência didática com conteúdos de Genética fundamentada no enfoque Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS). Desconsiderando as limitações³ em relação à implementação da abordagem CTS no ensino público brasileiro, a proposta dos autores contribuiu para otimizar o processo de ensino e aprendizagem de Genética, proporcionando maior participação e interesse dos alunos e melhora na interação entre professores e alunos, além de fornecer informações atualizadas sobre questões de ciência e tecnologia.

As novas tecnologias têm gerado um grande impacto nas relações sociais e apresentam influência importante no ensino e educação. Como salienta Ruppenthal *et al.* (2011), ao falar de mídias e Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs),

Vive-se a era tecnológica, quando é fácil perceber e observar que crianças e adolescentes são fascinados pela tecnologia e, muitas vezes, utilizam-na com mais desenvoltura e facilidade que muitos adultos. A tecnologia e a mídia

³ Segundo Sousa e Teixeira (2014), as limitações para a implantação do Enfoque C.T.S. em aulas de Genética no Ensino Médio das escolas públicas brasileiras envolve fatores como: tempo insuficiente para o planejamento e preparação das aulas; escassez de recursos didáticos; tempo insuficiente das aulas, que variam entre 50 a 100 minutos por semana e número elevado de alunos presentes nas salas de aulas.

progridem rapidamente; o que hoje é novidade amanhã estará ultrapassado. Em meio a esses novos tempos, é importante refletir e questionar a integração dessas novas mídias na escola, além do novo papel desta na formação dos alunos em tempos de constante evolução tecnológica (RUPPENTHAL *et al.* 2011, p. 378).

Autores como Ruppenthal *et al.* (2011) e Sudério *et al.* (2014) acreditam que as TICs auxiliam o processo de ensino-aprendizagem de conteúdos biológicos, pois tornam as aulas de Biologia mais interessantes, dinâmicas e envolventes, permitindo uma maior interação entre o professor e os alunos. Os alunos deixam de ser meros espectadores passivos e tornam-se protagonistas no processo de construção do conhecimento.

Tão importante quanto a utilização de TICs no Ensino é a eficiência do professor, o qual atua como sujeito mediador e motivador do aluno em busca da aprendizagem. No entanto, os professores têm encontrado dificuldades na utilização de TICs no Ensino de Biologia, em função da carga horária reduzida e problemas na formação com relação à utilização de recursos tecnológicos (RUPPENTHAL *et al.*, 2011; SUDÉRIO *et al.*, 2014).

Nas palavras de Sudério *et al.* (2014),

É fato que ainda existe professor totalmente alheio ao uso das tecnologias, mas creio que o sistema educacional brasileiro contribui para essa realidade. A escola pública precisa se equipar com as novas tecnologias e capacitar mais o professor para saber utilizar com eficiência essas ferramentas de trabalho. Ou seja, o sistema educacional precisa ser mais eficiente no que diz respeito a investimento e formação continuada de professores (SUDÉRIO *et al.*, 2014, p. 2009).

Diante disso, é importante que haja investimento na capacitação docente em relação à utilização de TICs, bem como sejam dadas condições ambientais pertinentes, bem como incentivo ao professor para o uso destes recursos no âmbito do ensino.

O presente capítulo elencou os aspectos conceituais e históricos da genética, as dificuldades no ensino-aprendizagem desta ciência, a importância social de entender seus principais conceitos e algumas das principais estratégias didáticas utilizadas pelos professores para superar as dificuldades no Ensino de Genética no Ensino Médio. O capítulo seguinte será dedicado à Neurociência, destacando inicialmente os aspectos históricos e conceituais desta ciência, os correlatos neurais

da aprendizagem, memória, emoções e motivação e, finaliza, abordando a neurociência no campo da educação.

3 NEUROCIÊNCIA

3.1 NEUROCIÊNCIA: VISÃO GERAL

O Século XXI poderá ser o século das descobertas neurocientíficas. O desenvolvimento tecnológico, em especial as técnicas de neuroimagem estrutural e funcional, vem promovendo um maior entendimento dos mecanismos neurobiológicos subjacentes ao comportamento e cognição, na normalidade ou patologia. As terapias com células-tronco, psicofarmacologia, robótica, técnicas modernas de neurocirurgia, para citar algumas, buscam, incessantemente, aperfeiçoar o tratamento de diversas afecções neurológicas que limitam a vida de milhões de pessoas no mundo inteiro, como as doenças de Alzheimer, Parkinson, Esclerose Múltipla, Lesões Medulares, entre outras.

Em 2014, o mundo inteiro presenciou, durante a cerimônia de abertura da Copa do Mundo no Brasil, um jovem paraplégico portando um exoesqueleto, chutar uma bola. Na realidade, este fato é somente um dos mais incríveis resultados de experimentos científicos realizado por neurocientistas da área da neurotecnologia.

Percebe-se que o desenvolvimento neurocientífico ancorado no desenvolvimento tecnológico vem gerando impacto em diversos campos, ganhando destaque em revistas e congressos da área e, inclusive, em manchetes de revistas de divulgação científica de ampla circulação, em que se divulga a descoberta dos mecanismos cerebrais subjacentes ao funcionamento mental, bem como a possibilidade de usar este conhecimento no tratamento de doenças mentais, compreensão do desenvolvimento infantil, prevenção de problemas da velhice, promoção da inteligência e outras faculdades mentais (RUSSO; PONCIANO, 2002). Segundo Ribeiro (2013, p. 7),

(...) as neurociências fascinam cada vez mais pessoas pela possibilidade de compreensão dos mecanismos das emoções, pensamentos e ações, doenças e loucuras, aprendizado e esquecimento, sonhos e imaginação, fenômenos que nos definem e constituem. Mais concretamente, profissionais de saúde, terapeutas, professores e legisladores podem agora se apropriar da imensa massa de dados empíricos sobre genes, proteínas, células, circuitos e organismos inteiros (RIBEIRO, 2013, p. 7).

Embora exista interesse pelo estudo do cérebro e suas relações com o comportamento e cognição, as questões neurocientíficas têm fascinado o homem

desde os tempos mais remotos. O interesse é evidenciado desde o paleolítico, no qual indícios de neurocirurgia (técnica chamada de trepanação) foram constatados com o intuito de liberar maus espíritos que habitavam o cérebro de pessoas com sintomas psiquiátricos. Os papiros faraônicos de aproximadamente 3.000 A.C. indicam que os egípcios, mesmo dispendo de poucos recursos, possuíam grande conhecimento sobre as funções do cérebro, especialmente as motoras (TONI *et al.*, 2005).

Entretanto, seguramente pode-se afirmar que houve uma evolução significativa no estudo das relações entre cérebro, comportamento e cognição a partir do século XIX, com os estudos do anatomista Franz J. Gall (1758 – 1828). Gall desenvolveu a técnica de cranioscopia (mais tarde chamada de frenologia) para estudar as diferentes faculdades mentais que ele acreditava estarem correlacionadas com depressões e protuberâncias no crânio dos seus pacientes (TONI *et al.*, 2005).

Não cabe aos propósitos desta tese realizar uma descrição minuciosa acerca da história da neurociência, mas convém citar alguns importantes cientistas que contribuíram para o nascimento e desenvolvimento desta área, como Paul Broca (1824-1880) e Carl Wernicke (1848-1905), os quais a partir de investigações científicas descobriram as áreas cerebrais responsáveis pela expressão e compreensão da linguagem, respectivamente. Os termos atualmente utilizados *afasia de Broca* (perda da expressão da linguagem) e *afasia de Wernicke* (perda da compreensão da linguagem) foram criados em homenagem aos seus respectivos descobridores (TONI *et al.*, 2005).

Sem dúvida um trabalho que merece destaque, por marcar o início da Neurociência moderna, é o do histologista espanhol Santiago Ramon y Cajal (1852 – 1934). Ramon y Cajal não é considerado nem pai nem pioneiro da neurociência, porém em função das suas enormes contribuições neuro-histológicas, é considerado um dos pioneiros das ciências neurais, um importante componente da neurociência (PARRA *et al.*, 2011).

A literatura científica mostra que as maiores construções neurocientíficas ocorreram nos últimos 100 anos, em que muitos aspectos da fisiologia, bioquímica, farmacologia e estrutura do cérebro dos vertebrados foram compreendidos (GOSWAMI, 2004). Contudo, somente a partir dos anos 90, período consagrado pelo governo dos Estados Unidos como “década do cérebro”, que o interesse e pesquisas relacionadas ao cérebro aumentaram consideravelmente (VENTURA, 2010). De fato, a partir desta época, a mídia passou a divulgar com bastante ênfase as construções

científicas da área, como o desenvolvimento tecnológico presente em modernas técnicas de neuroimagem estrutural e funcional e outros recursos tecnológicos sofisticados que permitem analisar detalhadamente, as estruturas cerebrais em pleno funcionamento (CARVALHO, 2011).

A neurociência vem se desenvolvendo de forma bastante satisfatória no Brasil, no qual se encontra representada pela Sociedade Brasileira de Neurociências e Comportamento (Sbnecc), Academias Brasileiras de Neurologia (ABN) e Psiquiatria (ABP), Sociedades Brasileiras de Neuropsicologia (Sbnp), Psicologia (SBP), de Farmacologia e Terapêutica Experimental (SBFTE), Fisiologia (Sbfis) e Bioquímica (Sbbq), além da Brazilian Research Association on Vision and Ophthalmology (BRAVO). Há programas de pós-graduação stricto sensu em Neurociências e Psicobiologia na Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), bem como vários outros programas como bioquímica, biofísica, farmacologia, fisiologia, psicologia entre outros com linhas de pesquisa na neurociência. Os temas de estudo dos principais neurocientistas brasileiros são: memória, psicofarmacologia, sistema visual, comportamento animal e neuroetologia, epilepsia, organização funcional do sistema nervoso, nutrição, sono e cronobiologia, desenvolvimento e funções neurais, doenças mentais, neurociência computacional e neurodegeneração em acidente vascular cerebral e doença de Parkinson (VENTURA, 2010).

É importante lembrar que o conhecimento científico gerado pela neurociência pode, também, trazer implicações negativas para a sociedade. É sabido que os neurocientistas vêm gerando importantes contribuições sobre os mecanismos neurais subjacentes a desordens neurodegenerativas (Doenças de Alzheimer, Parkinson) e outras doenças debilitantes, como as doenças psiquiátricas. Em contrapartida, o desenvolvimento da neuropsicofarmacologia e da indústria farmacêutica são acompanhados de um aumento significativo de pessoas que ingerem medicamentos psicotrópicos de forma indiscriminada, caracterizando uma verdadeira epidemia de distúrbios psiquiátricos (RIBEIRO, 2013).

3.2 NEUROCIÊNCIA: ASPECTOS CONCEITUAIS

A Neurociência estuda o sistema nervoso e suas relações com a fisiologia geral do organismo. Seus temas de interesse incluem o controle neural das funções vegetativas, sensoriais, motoras, alimentares e reprodutivas, funções cognitivas, aprendizagem e emoções. A neurociência também engloba o estudo da etiologia e mecanismos envolvidos nas diversas patologias do sistema nervoso, buscando métodos de diagnóstico, prevenção e tratamento das doenças (VENTURA, 2010).

Os pesquisadores que se dedicam à neurociência são chamados de neurocientistas, e são provenientes de áreas como medicina, psicologia, ciências biológicas, farmácia, educação física entre outros, todos com sólido conhecimento na anatomia e fisiologia do sistema nervoso. Desta forma, sem dúvida, pode-se dizer que a neurociência é uma área transdisciplinar, englobando subdisciplinas como a neuroanatomia, neurofisiologia, neuropsicologia, neuropsicofarmacologia, neurologia, neurocirurgia, entre outras. Cada uma destas subáreas possui um objeto de estudo específico, porém existe uma forte integração entre elas, e os conhecimentos de uma podem servir de suporte para outra (s) (BENARÓS *et al.*, 2010).

A década do cérebro, citada anteriormente, também foi palco do desenvolvimento da neurociência cognitiva, uma abordagem funcional do encéfalo constituída por uma combinação de métodos de uma variedade de campos, como biologia celular, neuroimagem, psicologia cognitiva, neurologia comportamental e ciência computacional (KANDEL *et al.*, 2003, p. 382). De fato, para Kandel *et al.* (2003, p. 1165), a neurociência na atualidade é a neurociência cognitiva, “um misto de conhecimentos da neurofisiologia, anatomia, biologia desenvolvimentalista, biologia celular e molecular e psicologia cognitiva”.

A neurociência cognitiva teve origem a partir de um esforço científico histórico de várias ciências neurais e comportamentais, como a psicologia fisiológica, neuropsicologia e o próprio termo “neurociências” (mais amplo que neuroanatomia e neurofisiologia). Estes esforços buscaram relacionar estudos dedicados a diversos aspectos do cérebro, que podem ser pensados em três dimensões: (a) “vertical”: níveis de organização estrutural e funcional do cérebro; (b) “horizontal”: interações entre cérebro, corpo e ambiente dos organismos; e, (c) “temporal” questões filogenéticas e ontogenéticas que determinam a estrutura e funcionamento cerebral (PEREIRA JÚNIOR, 2011, p. 510).

Com o objetivo de estabelecer relações entre o funcionamento cerebral e as funções cognitivas humanas e animais, a neurociência cognitiva utiliza uma variedade de métodos e técnicas, como análises bioquímicas, autópsia, métodos de neuroimagem funcional, com tomografia por emissões de pósitrons (PET-CT) e ressonância magnética funcional (fMRI, do inglês Functional Magnetic Ressonance Imaging), eletroencefalografia (EEG) e magnetoencefalografia (MEG) (GEAKE; COOPER, 2003). Os métodos de neuroimagem funcional proporcionaram um grande desenvolvimento da neurociência cognitiva ao permitirem aos neurocientistas um estudo do cérebro em pleno funcionamento, gerando um aprofundamento do conhecimento de processos como linguagem, pensamento e raciocínio, leitura e matemática (GOSWAMI, 2004; 2006).

A neurociência cognitiva estuda temas como funções perceptivas, cognição espacial, audição e música, emoções, imitação, motricidade, linguagem e consciência, assim como comportamentos cognitivos relevantes para o campo da educação, por exemplo, inteligência, motivação, aprendizagem e memória (GOSWAMI, 2004), os quais serão abordados com maiores detalhes na sequência deste texto.

3.3 NEUROCIÊNCIA DA APRENDIZAGEM E MEMÓRIAS E DAS PRINCIPAIS FUNÇÕES COGNITIVO-EMOCIONAIS RELACIONADAS A ESSES PROCESSOS.

Independente da concepção teórica adotada, a aprendizagem é um processo neurobiológico, ou seja, se cumpre no SNC, onde são produzidas modificações muitas vezes permanentes que se traduzem em modificações funcionais e comportamentais, as quais permitem uma melhor interação do indivíduo no ambiente (ROTTA *et al.*, 2007). Este fenômeno é chamado de plasticidade neural ou neuroplasticidade, descrita adiante.

A aprendizagem depende da integração de muitas funções do sistema nervoso (atenção, as memórias, funções executivas, percepção, raciocínio e emoções, etc.) com o ambiente, que fornece as informações que devem ser processadas pelo indivíduo. A biologia cerebral e o ambiente são fatores entrelaçados quando queremos explicar a aprendizagem (SIQUEIRA; GURGEL-GIANNETTI, 2011).

De uma maneira bastante didática, Siqueira e Gurgel-Giannetti (2011) dividem a aprendizagem em três etapas: entrada (*input*), processamento e saída (*output*). O

input constitui os processos que ocorrem desde a captação das informações pelos órgãos sensoriais até a percepção das informações pelo cérebro. O processamento ocorre em áreas gnósicas e refere-se à organização, integração e armazenamento de informações. O *output*, ou resposta efetora, ocorre pelas vias eferentes motoras.

Os conceitos de aprendizagem e memória podem parecer próximos, porém há uma clara distinção entre estes dois processos. Segundo Lent (2010) e Kandel *et al.* (2003), de forma geral, aprendizagem é um processo pelo qual os seres humanos e animais adquirem informações do ambiente (interno e externo), e memória é o processo pelo qual estas informações são codificadas, armazenadas e, posteriormente, recuperadas.

Por mais de um século, a memória e outras funções neurais eram consideradas produtos somente do córtex cerebral. Entretanto, na atualidade, sabe-se que a memória é operada em muitas regiões cerebrais. Além disso, a memória apresenta vários tipos e subtipos diferentes, porém interdependentes (CAMPO-CABAL, 2012).

As memórias podem ser classificadas quanto ao tempo de retenção em memória ultrarrápida ou imediata, memória de curta duração e memória de longa duração. Na memória ultrarrápida ou memória sensorial, a retenção dura alguns segundos e tem a característica de ser pré-consciente, ou seja, não alcança a consciência. A memória de curta duração ocorre paralelamente com a memória de longa duração e dura poucas horas, garante a continuidade do presente e envolve processos bioquímicos breves no hipocampo e córtex entorrinal. Na memória de longa duração, a retenção perdura por muitas horas, dias ou anos. Sua formação depende de processos moleculares que duram de 3 a 6 horas, os quais ocorrem no hipocampo, núcleos amigdalinos e outras áreas (IZQUIERDO *et al.*, 2013; LENT, 2010;).

Em relação ao conteúdo, por exemplo, a memória pode ser dividida em dois grandes grupos: a memória declarativa e a memória não declarativa ou implícita. Esta última engloba as memórias de procedimentos, as quais são capacidades ou habilidades sensoriais e motoras aprendidas previamente e que se tornaram automáticas, como andar de bicicleta, dirigir um carro, usar um teclado. Esta forma específica de memória depende fundamentalmente de circuitos subcorticais que incluem o núcleo caudato e circuitos cerebelares (IZQUIERDO *et al.*, 2013).

A memória declarativa é aquela que popularmente chamamos de “memória”. Classifica-se como semântica (conhecimentos gerais) e episódicas e/ou

autobiográficas (fatos e eventos). A memória declarativa depende do hipocampo, a amígdala e várias regiões corticais (pré-frontal, parietal entre outras). O hipocampo, presente na região medial dos lobos temporais, é a estrutura cerebral central da formação de memórias declarativas. Integra um circuito que inclui o córtex entorrinal, o núcleo da amígdala e áreas corticais distantes. É classicamente destacado como a estrutura cerebral responsável pelo aprendizado e memória em humanos e roedores (formação da memória declarativa), porém não se caracteriza como um local de armazenamento. As informações duradouras são estocadas em outras regiões do cérebro, e cada região cerebral de processamento complexo armazena informações a partir do comando hipocampal; por exemplo, o córtex íntero-temporal trata de armazenar arquivos icônicos, enquanto que a área de Wernicke, no lobo temporal esquerdo, armazena informações léxicas e fonéticas (IZQUIERDO *et al.*, 2013; LENT, 2010).

As informações contidas na memória declarativa não estão armazenadas de maneira aleatória, mas sim organizadas. Os conceitos armazenados na memória semântica estão conectados entre si por relações de subordinação ou superordenação, em relações de categoria, funcionando assim como “nós” ou “nodos” em complexas redes semânticas. Quando o indivíduo acessa conscientemente uma informação contida em um destes nós (por exemplo, através da nomeação) desencadeia uma ativação automática de outros conceitos com os quais compartilha propriedades de significado, sendo que a eficácia da ativação depende da força de associação dos nós, determinada pela quantidade de propriedades que as representações têm em comum e na distância entre elas (MELLO, 2008).

Há um tipo de memória crucial para a aprendizagem de qualquer conteúdo ou habilidade: a memória de trabalho ou operacional. Pesquisadores costumam comparar a memória de trabalho com a memória RAM de computadores, em que as informações são mantidas “vivas” por alguns segundos ou minutos, enquanto estão sendo percebidas ou processadas (IZQUIERDO *et al.*, 2013).

A memória de trabalho (*working memory*) tem a função de permitir a retenção e manipulação temporária das informações para a compreensão dos fatos, raciocínio e resolução de problemas, bem como para o planejamento de ações comportamentais. Utiliza-se esta forma de memória para lembrar número de telefone que acabaram de dizer, informações para uma prova, entre outras (LENT, 2010).

A capacidade de memória de trabalho é limitada, ou seja, o indivíduo não consegue processar muitas informações ao mesmo tempo. Esta forma de memória possibilita o resgate das informações apreendidas ou consolidadas na memória de longo prazo, com a qual tem a capacidade de conectar as informações novas. Desta forma, toda informação que chega ao cérebro é organizada e processada pela memória de trabalho, por meio da interação com o conhecimento presente na memória de longo prazo (CAMPO-CABAL, 2012).

Em 1974, Baddeley e Hitch dividiram a memória de trabalho em três subsistemas: (1) componente executivo central (regiões pré-frontais do cérebro); (2) componente visuoespacial (lobo parietal inferior e parieto-occipital dorsal); (3) componente fonológico ou alça fonológica (giro supramarginal) (BADDELEY, 2003). Recentemente, Baddeley (2003) propôs um quarto componente, o retentor episódico ou *episodic buffer*, cuja função seria a de integrar as informações mantidas temporariamente, na memória de trabalho com aquelas provenientes dos sistemas de longo prazo.

Estudos indicam que a capacidade de memória de trabalho está relacionada com o sucesso acadêmico. Alguns autores afirmam que a dificuldade em compreender conceitos complexos e abstratos está vinculada a problemas no processamento cerebral, como limitações na memória de trabalho (REID, 2009a; 2009b). Estudos mostram que quando um indivíduo precisa processar muitas informações ao mesmo tempo, pode ocorrer uma sobrecarga mental, que prejudica significativamente a aprendizagem. Desta forma, no caso da genética, pesquisadores sugerem que não se trata da quantidade de informação envolvida, mas sim de quantos conceitos e/ou ideias precisam ser retidos e processados simultaneamente a fim de ganhar a compreensão de cada assunto ou tema (CHU; REID, 2012).

Os tipos, subtipos e características das memórias podem ser visualizados no quadro 1:

Quadro 1 – Tipos e Características das Memórias⁴.

Classificação das memórias quanto ao tempo de retenção			
Tempo de retenção		Características	
Ultrarrápida ou imediata		Dura frações de segundos a alguns segundos; memória sensorial.	
Curta duração		Dura minutos ou horas, garante o sentido de continuidade do presente.	
Longa duração		Dura horas, dias ou anos, garante o registro do passado autobiográfico e dos conhecimentos do indivíduo.	
Classificação das memórias quanto a sua natureza			
Tipos	Subtipos	Características	Regiões cerebrais
Explícita ou declarativa (pode ser descrita por meio de palavras e outros símbolos)	Episódica	Tem uma referência temporal: memória de fatos sequenciados.	Lobo temporal medial Diencefalo
	Semântica	Envolve conceitos atemporais: memória cultural.	
Implícita ou não declarativa (não precisa ser descrita por meio de palavras)	De representação perceptual	Representa imagens sem significado conhecido: memória pré-consciente.	Neocórtex
	De procedimentos	Hábitos, habilidades e regras.	Estriado Cerebelo
	Associativa	Associa dois ou mais estímulos (condicionamento clássico), ou um estímulo a uma certa resposta (condicionamento operante).	Amígdala (respostas emocionais) Cerebelo (respostas musculares esqueléticas)
	Não associativa	Atenua uma resposta (habituação) ou aumenta-a (sensibilização) através da repetição de um mesmo estímulo.	Vias reflexas
Memória de trabalho		Permite o raciocínio e o planejamento do comportamento.	Córtex pré-frontal (componente executivo) Córtex parieto-occipital

Fonte: Adaptado de Lent (2010, p. 650).

A aprendizagem de conteúdos novos, complexos e abstratos apresenta uma íntima relação com o raciocínio fluído ou inteligência fluída (Gf – fluid intelligence), definida como a “capacidade de raciocinar em situações novas, criar conceitos e compreender implicações” (PRIMI; ALMEIDA, 2000, p.166).

Para Dumontheil (2014), a inteligência fluída é definida como,

⁴As informações sobre as regiões cerebrais foram capturadas de Squire e Zola (1996).

(...) a capacidade de utilizar operações mentais para resolver novos problemas. As operações mentais incluem inferências de desenhos, formação de conceitos, classificação, geração e teste de hipóteses, identificando relações, compreendendo implicações, resolução de problemas, extrapolando e transformando informações (DUMONTHEIL, 2014, p.71)

Para Preusse *et al.* (2011), a inteligência fluída é um pré-requisito para resolver problemas novos, para lidar com situações pouco familiares, situações que permitem ao indivíduo adquirir novos conhecimentos e insights.

Para uma aprendizagem significativa de conceitos de genética é preciso compreender relações abstratas entre conceitos, por isso envolve habilidades de raciocínio abstrato, raciocínio lógico, dedutivo-indutivo, todas fortemente relacionadas à inteligência fluída.

Existem testes que avaliam a inteligência fluída, como o teste Matrizes Progressivas de Raven e a Prova de Raciocínio Abstrato (RA), um subteste da Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5), utilizado neste estudo. Estes testes envolvem questões de raciocínio analógico geométrico e, segundo Preusse *et al.* (2011), as analogias geométricas são tarefas cognitivas que envolvem a inteligência fluída, sendo uma abordagem adequada para estudar diferenças interindividuais na inteligência fluída.

Segundo Preusse *et al.* (2011), as questões de raciocínio analógico geométrico envolvem redes neurais do córtex parieto-frontal. Através de um exame de neuroimagem funcional, Preusse *et al.* (2011) descobriram que o sinal BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent), que mede indiretamente a atividade neural, é maior na região parietal de participantes com inteligência fluída alta do que em participantes com inteligência fluída baixa.

Mais especificamente, Preusse *et al.* (2011) observaram que estudantes com alta inteligência fluída apresentam um recrutamento maior de regiões parietais, enquanto que estudantes com média inteligência fluída apresentam maior recrutamento de regiões frontais do cérebro. Os pesquisadores concluem que, ao utilizar menos o lobo frontal, estudantes com alta inteligência fluída necessitam de um menor monitoramento executivo que estudantes com inteligência média.

O CPFRL (Córtex Pré-Frontal Rostro-Lateral) está intimamente vinculado à inteligência fluída. Estudos de fMRI e o teste de raciocínio chamado de Matrizes Progressivas de RAVEN em adultos mostraram que o CPFRL é ativado quando os

participantes se engajam na integração relacional durante as tarefas (FERRER *et al.*, 2009). Estudos de neuroimagem funcional mostram um aumento do sinal BOLD no CPFRL de indivíduos submetidos a uma série de tarefas cognitivas, como raciocínio abstrato, lógico e relacional, inclusive aquelas com alto grau de informação abstrata (DUMONTHEIL, 2014).

A neurociência cognitiva também se preocupa com os processos que direta ou indiretamente exercem influência sobre a aprendizagem e memória, como as emoções e a motivação.

As emoções são sentimentos que intensificam a atividade dos circuitos neurais, fortalecendo suas conexões sinápticas, estimulando a aquisição, retenção, consolidação e evocação das informações (CARVALHO, 2011). Quanto mais interessante e importante é a informação, mais fácil sua retenção e evocação. As emoções melhoram significativamente a memória declarativa. É possível notar que as pessoas têm maior facilidade de recordar fatos ou eventos acompanhados de emoções, sejam positivas ou negativas (DALMAZ; NETTO, 2004).

Segundo a literatura neurocientífica, as reações emocionais apresentam manifestações subjetivas, comportamentais e fisiológicas. As manifestações subjetivas referem-se ao sentimento consciente de prazer ou desprazer das emoções. As manifestações comportamentais são ações motoras involuntárias ou reflexas (gritos de susto ou alegria) ou voluntárias (correr, pular etc). As manifestações fisiológicas envolvem respostas corporais, como taquicardia, hiperventilação, rosto corado, sensação de aperto no peito. Estas reações, em conjunto, são produto do funcionamento do sistema límbico, um conjunto de estruturas localizadas na face medial dos hemisférios cerebrais e diencefalo, e inclui áreas como o giro cingulado, hipotálamo, amígdala, núcleos do tálamo, córtex pré-frontal (LENT, 2010). Segundo Guerra (2011), os neurônios de áreas límbicas mantêm fortes conexões com neurônios de áreas importantes para a formação de memórias.

A motivação é um conceito que, assim como a aprendizagem, apresenta diversas definições, sendo muitas vezes abordado de maneiras muito diferentes e contraditórias (TODOROV; MOREIRA, 2005). Segundo o Dicionário Michaelis (2018), a palavra motivação é descrita como “série de fatores, de natureza afetiva, intelectual ou fisiológica, que atuam no indivíduo, determinando-lhe o comportamento”.

Lent (2010) em sua principal obra intitulada “Cem Bilhões de Neurônios? Conceitos Fundamentais de Neurociência”, utiliza o termo “motivações” ou estados

motivacionais, que são caracterizados como “impulsos internos que nos levam a realizar certos ajustes corporais e comportamentos”. Nesta mesma obra, Lent (2010) descreve três classes de motivações, sendo a primeira responsável por manter a homeostasia⁵ e, a segunda e terceira, determinadas basicamente pela busca do prazer.

A primeira classe de estados motivacionais, descrita por Lent (2010), integra mecanismos homeostáticos que buscam garantir a sobrevivência do organismo. Nesta, forças fisiológicas ou impulsos biológicos internos (como sensações de frio, calor, fome, sede) desencadeiam respostas autonômicas reflexas e somáticas que visam manter a homeostase, bem como geram comportamentos motivados a eliminar o desconforto ou um estado motivacional desagradável. Um exemplo típico são as sensações de frio, que são estados motivacionais que promovem respostas reflexas autonômicas e somáticas (que visam gerar e conservar a energia corporal) e, também, comportamentos motivados, como: buscar um agasalho, abrigo ou algo quente para beber (LENT, 2010).

A segunda classe também envolve comportamentos motivacionais ligados à sobrevivência e reprodução da espécie. Um exemplo típico é o comportamento sexual, que está ligado a impulsos interiores que levam o indivíduo a escolher um parceiro sexual. Em humanos, este comportamento nem sempre objetiva a procriação, mas sim a busca pelo prazer. Desta forma, os determinantes fisiológicos deste comportamento não estão bem definidos, ou seja, se tal estado motivacional inclui alguma carência fisiológica, como é o caso da fome e sede (LENT, 2010).

A terceira classe de estados motivacionais envolve questões subjetivas, sem um determinante biológico identificável. Esta classe inclui a maior parte dos comportamentos motivados, como estudar, trabalhar, viajar, que são motivados pelo prazer da atividade ou por outros motivadores. Esta classe inclui os comportamentos afiliativos, que envolvem a criação e manutenção de relações sociais com semelhantes (LENT, 2000).

As bases neurais dos estados motivacionais de primeira classe são bem conhecidas e mais simples. Contudo, segundo Lent (2010), ainda se sabe pouco

⁵Homeostasia ou homeostase é um conceito clássico da fisiologia geral proposto no início do século XX pelo fisiologista americano Walter Cannon (1871-1945). Corresponde a um estado corporal de equilíbrio dinâmico constantemente desafiado por estressores internos ou externos. (CHROUSOS, 2009). Lent (2010) descreve a homeostasia como um mecanismo interno de controle automático das funções orgânicas, como a circulação, digestão, excreção, entre outras (LENT, 2010).

sobre as bases neurais subjacentes ao comportamento sexual e, menos ainda, sobre as motivações de terceira classe.

A dopamina é um neurotransmissor bastante conhecido pela sua relação com o movimento, excitação, humor e sensações de prazer. A literatura mostra que pacientes com Doença de Parkinson e depressão apresentam redução da biodisponibilidade deste neurotransmissor, enquanto que determinados antidepressivos e drogas ilícitas como a cocaína aumentam a biodisponibilidade deste neurotransmissor no cérebro, produzindo sensações de euforia e bem-estar. Estudos recentes na área da neurociência cognitiva e comportamental têm mostrado que a dopamina presente no *núcleo accumbens* apresenta um papel crítico em comportamentos motivados, estando vinculada, por exemplo, à satisfação de iniciar e finalizar uma tarefa ou trabalho (SALAMONE; CORREA, 2012; SALAMONE *et al.*, 2016).

Os fatores motivacionais estão intimamente relacionados com o desempenho escolar, por isso despertam interesse e preocupação de pesquisadores e educadores. (ZENORINI; SANTOS, 2010; ZENORINI *et al.*, 2011).

Nas palavras de Zenorini e Santos (2010),

(...) um estudante motivado demonstra maior envolvimento e esforço no processo de aprendizagem, enfrenta tarefas desafiadoras, não desanima diante do insucesso, persiste ao realizar as tarefas e utiliza estratégias mais adequadas. Já a ausência da motivação é identificada em alunos que estudam pouco ou nada, demonstram pouca persistência e, conseqüentemente, também aprendem pouco (ZENORINI; SANTOS, 2010, p. 291)

A literatura científica costuma classificar a motivação em dois aspectos: intrínseca e extrínseca. A motivação extrínseca está relacionada à realização de uma tarefa pelo simples prazer que a mesma proporciona. Nesta, o indivíduo realiza uma atividade por considerar interessante, não havendo necessidade de recompensas ou prêmios. A motivação extrínseca, ao contrário, o indivíduo busca realizar determinadas tarefas para obter premiações, elogios e outras formas de aprovação de professores, pais, entre outros, sem interesse na aprendizagem (PANSERA *et al.*, 2016).

Para Zull (2002), o mais importante para o professor é compreender a importância da motivação intrínseca. Assim, para uma aprendizagem significativa, o

professor não precisa se preocupar com formas de motivar seus alunos, mas sim intensificar aquilo que já está motivando.

Ainda, segundo Zull (2002), as recompensas extrínsecas realmente são tentadoras, por isso os alunos fazem de tudo para obtê-las, porém, muitas vezes, sem realizar uma aprendizagem significativa. Os alunos buscam recompensas extrínsecas na escola e universidade, nas quais eles obtêm notas “A” em disciplinas cujos conteúdos dificilmente serão lembrados meses depois.

Mas as recompensas extrínsecas têm seu valor para determinados tipos de aprendizes. Há aprendizes que ainda não sabem o que gostam, por isso as recompensas extrínsecas podem auxiliar esses alunos a se interessarem por algum conteúdo. As recompensas extrínsecas, então, podem ser o primeiro passo para a mobilização para obter recompensas intrínsecas (ZULL, 2002).

A Teoria de Metas de Realização é o modelo teórico do Escala de Motivação para a Aprendizagem (EMAPRE), desenvolvido por Zenorini (2007), e utilizado neste estudo.

Esta teoria enfoca o aspecto qualitativo do envolvimento do aluno na aprendizagem. É uma teoria que busca explicar a motivação do aluno para o aprendizado, e prioriza as metas de realização. As metas de realização representam os objetivos, propósitos ou as razões pelas quais o aluno realiza uma tarefa, os fatores que motivam potencialmente seu comportamento (ZENORINI; SANTOS, 2010; ZENORINI *et al.*, 2011).

De acordo com Zenorini e Santos (2010), as metas de realização variam de acordo com os estudiosos do assunto. Neste estudo, as terminologias adotadas serão a meta aprender, meta performance-aproximação, meta performance-evitação.

Segundo Zenorini e Santos (2010),

(...) o estudante orientado à meta aprender é aquele que busca o crescimento intelectual, valoriza o esforço pessoal, enfrenta os desafios e costuma utilizar-se de estratégias de aprendizagem mais efetivas. Já o estudante orientado à meta performance seria aquele mais preocupado em demonstrar a sua própria inteligência, sendo que o orientado à aproximação busca parecer inteligente, ou ser o primeiro da classe e o orientado à evitação evita qualquer situação em que possa demonstrar a sua incapacidade (ZENORINI; SANTOS, 2010, p. 292).

Os efeitos da motivação como elemento facilitador da aprendizagem significativa são mediados pelo aumento da atenção, que é considerada a principal

variável geral interveniente, através da qual a motivação influencia na aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2003).

A maioria das aprendizagens necessita de um mínimo de atenção. Segundo Ausubel (2003, p. 203), “a atenção, é provavelmente, uma *condição cognitiva geral* essencial para a ocorrência da maioria dos casos de aprendizagem significativa”.

Ausubel (2003) afirma ainda que, independente da forma como se faz, somente direcionar a atenção dos alunos para determinados aspectos da matéria promove a aprendizagem. Fazendo isso, o professor estará promovendo a atenção seletiva ou concentrada, particularmente avaliada neste estudo e sobre a qual será dissertado a seguir.

Ainda, segundo Ausubel (2003), a atenção seletiva é um processo que depende do interesse do aprendiz (ou envolvimento do ego) e, também, contribui para:

(...) determinar, de forma diferencial, a escolha do aprendiz, num determinado caso equívoco, entre a transformação de memória a curto ou a longo prazo; entre mecanismos de aprendizagem por memorização ou significativa; e entre informações triviais ou transitórias, por um lado, e informações significativas ou conhecimentos, por outro. (AUSUBEL, 2003, p. 203).

Entretanto, mesmo as informações bem estabelecidas e consolidadas, ou seja, aprendidas significativamente, não são permanentes. Uma das causas do esquecimento quotidiano é a desatenção, pois não se pode aprender nem lembrar daquilo que não se assiste. (AUSUBEL, 2003)

O esquecimento é um fenômeno fisiológico natural e essencial ao bom funcionamento da memória, que ocorre continuamente enfraquecendo os padrões mnemônicos aprendidos (DALMAZ; NETTO, 2004).

É importante ressaltar que existem períodos críticos para o desenvolvimento de determinadas formas de aprendizagem, por exemplo, andar e falar. Entretanto, a aprendizagem ocorre durante toda a vida do indivíduo e, conforme a literatura neurocientífica, é um processo que promove uma reorganização cerebral, evidenciada desde níveis comportamentais, anatômicos, fisiológicos e, até mesmo, níveis celulares e moleculares. Este processo denomina-se neuroplasticidade, um termo cada vez mais presente na pesquisa neurocientífica e sociedade em geral (PICKERSGILL *et al.*, 2015).

Para Guerra (2011),

Neuroplasticidade é a propriedade de “fazer e desfazer” conexões entre neurônios. Ela possibilita a reorganização da estrutura do SN e do cérebro e constitui a base biológica da aprendizagem e do esquecimento. Preservamos as sinapses e, portanto, redes neurais relacionadas aos comportamentos essenciais à nossa sobrevivência. Aprendemos o que é significativo e necessário para vivermos bem e esquecemos aquilo que não tem mais relevância para o nosso viver (GUERRA, 2011, p. 8).

Como ressaltado anteriormente, a aprendizagem é produto da interação dinâmica entre o funcionamento cerebral e o ambiente. Desta forma, fatores ambientais como o contexto familiar e escolar, aspectos culturais, econômicos, entre outros, interferem significativamente na aprendizagem. Os aprendizes com carência nutricional, privados de material escolar adequado, estimulação e incentivo dos pais e professores, com problemas psiquiátricos (depressão, ansiedade, etc.), podem apresentar dificuldades de aprendizagem⁶. Considerando a etiologia multifatorial dos problemas de aprendizagem, o tratamento de uma dificuldade específica é, necessariamente, multidisciplinar (GUERRA, 2011).

3.4 NEUROCIÊNCIA E EDUCAÇÃO

Percebe-se, atualmente, um crescente interesse e debate sobre a relação entre a neurociência cognitiva e educação. De fato, segundo Ansari e Coch (2006), é possível estabelecer várias pontes entre estes campos, incluindo a formação de professores com o conhecimento neurocientífico, bem como de neurocientistas cognitivos preocupados com a produção de conhecimento destinado aos profissionais do ensino e educação (ANSARI; COCH, 2006).

Os conhecimentos disponibilizados pela neurociência cognitiva proporcionam uma abordagem do processo ensino-aprendizagem fundamentada na compreensão dos seus processos neurocognitivos subjacentes, e práticas pedagógicas que respeitam o funcionamento cerebral tendem a ser mais eficientes. De fato, conhecer os aspectos neurobiológicos implicados no processo de ensino-aprendizagem pode ajudar os educadores, professores e, até mesmo, os pais a entenderem melhor como

⁶ Existe uma clara distinção entre dificuldade escolar (DE) e transtorno de aprendizagem (TA). As DE envolvem problemas de origem pedagógica e/ou sociocultural, sem qualquer envolvimento orgânico. O TA relaciona-se com comprometimentos na estrutura e/ou funcionamento cerebral, envolvido no ato de aprender, tais como dislexia, discalculia e transtorno da escrita. Além dos (TA), outros problemas neurobiológicos como o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) também estão relacionados com o mau desempenho escolar (SIQUEIRA; GURGEL-GIANNETTI, 2011).

ocorre a aprendizagem, a origem e desenvolvimento dos problemas de aprendizagem, assim como inspirar práticas educacionais (GUERRA, 2011).

Entretanto, apesar do otimismo em relação às contribuições da neurociência para o ensino e educação, esta não busca trazer a solução para todos os problemas nem propor uma nova pedagogia, mas sim fortalecer estratégias utilizadas em sala de aula, além de sugerir novas formas de ensinar (CHEDID, 2007; GUERRA, 2011).

O conhecimento neurocientífico proporciona ao professor o conhecimento dos mecanismos neuropsicológicos da memória, do esquecimento, do sono, da atenção, do medo, do humor, da afetividade, dos sentidos, da linguagem, do pensamento, do desenvolvimento neuropsicomotor, enfim, oferece subsídios teóricos interessantes e imprescindíveis para compreensão e ação pedagógica. O conhecimento da plasticidade cerebral, por exemplo, promove uma nova visão do ensino-aprendizagem, e nos permite rever questões como “fracasso escolar” e “dificuldades de aprendizagem” (CHEDID, 2007).

Os professores que atuam como mediadores do processo de ensino-aprendizagem podem propor atividades que favoreçam a neuroplasticidade e a secreção de hormônios que provocam o entusiasmo e o desejo de aprender ou o extremo oposto, o desinteresse. Desta forma, é importante a configuração de um cotidiano escolar que ofereça interesse, alegria e motivação, os quais são requisitos necessários para qualquer tipo de aprendizado (CARVALHO, 2011). É importante lembrar que os adolescentes aprendem o que os motiva, o que os emociona, o que desejam, aquilo que tem significado para seu cotidiano (GUERRA, 2011).

Mesmo parecendo redundante, Burgos *et al.* (2009) afirmam que os professores devem evitar ameaças, humilhações e outros fatores geradores de estresse no cotidiano escolar; estimular a atenção, escrita e leitura; incentivar a prática da atividade física e o desenvolvimento artístico; estimular e utilizar técnicas de relaxamento; usar recursos didáticos variados e estabelecer uma melhor interação entre os hemisférios cerebrais, em que as informações verbais (conceitos e palavras) e não verbais (como imagens e símbolos), possam se conjugar em uma estrutura unitária de conhecimento.

A partir da compreensão da neuroplasticidade adaptativa⁷, os professores podem criar condições de aprendizagem que fortaleçam determinados circuitos

⁷Plasticidade adaptativa é a capacidade do cérebro para alterar a um nível neurofisiológico em resposta às alterações no ambiente cognitivo (GEAKE; COOPER, 2003).

neurais e evitem condições de aprendizagem errôneas. A repetição é fundamental para uma aprendizagem eficiente e duradoura e, do ponto de vista neurocientífico, os circuitos neurais ativados repetitivamente e em sincronia tornam-se mais eficientes. Isto se traduz no fato de que os estudantes de música que praticam têm um desempenho superior e aquelas sequências de movimentos (dedos e corporais) se tornam automáticos (GEAKE, COOPER, 2003).

Geake e Cooper (2003) afirmam que estratégias simples visando o reforçamento de circuitos neurais pré-existentes podem ser utilizadas em estágios de introdução de novos tópicos, por exemplo, a Primeira Lei de Mendel. Neste processo, o professor ou livro didático podem, efetivamente, auxiliar os alunos na busca de soluções às questões, ao invés de simplesmente permitir que os alunos obtenham respostas erradas, as quais também podem reforçar circuitos neurais que prejudicam o aprendizado significativo. Em crianças ou mesmo adolescentes, períodos de jogos livres ou dirigidos podem ser uma estratégia bastante eficaz para gerar relações com o material de aprendizagem antes da introdução de conceitos mais formais (GEAKE; COOPER, 2003).

Pensando em aspectos relativos à socialização, a neurociência postula que o professor pode promover desafios e competições entre os alunos, incentivar os trabalhos em grupo, seguidos de apresentação, que adicionalmente favorece o desenvolvimento das habilidades sociais. É necessário evitar exposições prolongadas do conteúdo, pois a atenção não se mantém por longos períodos, e inserir intervalos ou mudanças de atividades são fundamentais (GUERRA, 2011).

A utilização de recursos que explorem os canais multissensoriais, devidamente fundamentados no conhecimento neurocientífico pode facilitar a manutenção da atenção, motivação, facilitando a aprendizagem. Estes recursos aumentam o acesso de informações ao cérebro, bem como ativam múltiplas redes neurais que estabelecerão associação entre si (GUERRA, 2011). Desta forma, o professor pode utilizar informações verbais, visuais, auditivas e táteis, através de recursos como textos, artigos científicos, imagens, músicas, internet, jogos educativos, objetos virtuais de aprendizagem, mapas conceituais, práticas que envolvam o corpo, entre outras.

Segundo Consenza e Guerra (2011)

As gerações mais antigas aprendiam principalmente por meio dos textos escritos, mas os jovens atualmente têm a sua disposição uma imensa parafernália de material multimídia, principalmente através da internet, o que é muito bom, uma vez que há a oportunidade de se construir uma rede neuronal mais complexa. Neste caso, talvez o papel mais importante do professor seja auxiliar na seleção e orientação, para a exclusão das muitas informações pouco confiáveis ou irrelevantes (CONSENZA; GUERRA, 2011, p. 73).

A literatura mostra que a memória de trabalho tem um papel importante no processo de aprendizagem. Levando em conta estas informações, a neurociência postula que os docentes devem buscar meios de minimizar a sobrecarga mental dos seus alunos, como, por exemplo, através da criação de momentos para descontração e descanso (contar piadas, ouvir música, entre outros), que, além de facilitar a atenção, promovem uma higiene mental, importante para evitar a sobrecarga da memória de trabalho (CONSENZA; GUERRA, 2011).

Os estímulos verbais (palavras, conceitos, textos) e imagéticos (figuras, arranjos espaciais, cores) podem ser processados simultaneamente na memória de trabalho, sem causar sobrecarga. Desta forma, a utilização de organizadores gráficos, como esquemas, fluxogramas, cronogramas e mapas conceituais pode potencializar a aprendizagem significativa (AGUIAR; CORREIA, 2013).

Como visto anteriormente, contextualizar o assunto é fundamental, uma vez que os alunos dificilmente prestarão atenção em informações que não tenham relações com seu cotidiano, observando-se que o cérebro seleciona as informações mais importantes para o bem-estar e sobrevivência do indivíduo (GUERRA, 2011). Conforme Consenza e Guerra (2011, p. 48),

Terá mais chance de ser significativa aquilo que tenha ligações com o que já é conhecido, que atenda a expectativas ou que seja estimulante e agradável. Uma exposição prévia do assunto a ser aprendido, que faça ligações do seu conteúdo com o cotidiano do aprendiz e que crie as expectativas adequadas é uma boa forma de atingir esse objetivo (CONSENZA; GUERRA, 2011, p. 48).

Christodoulou e Gaab (2009) e Goswami (2006) alertam para a questão da disseminação de informações equivocadas sobre o cérebro ou “neuromitos”, como, por exemplo, afirmações de que “usamos somente 10% da capacidade do cérebro” ou “o lado esquerdo do cérebro é responsável pela linguagem e do lado direito para o pensamento abstrato” ou mitos comportamentais como “os disléxicos enxergam as letras inversamente”, entre outros. Os neuromitos obscurecem e violam os resultados

de pesquisas científicas e podem conduzir a pesquisas defeituosas (CHRISTODOULOU; GAAB, 2009; GOSWAMI, 2006).

Apesar da importância para os educadores, os conhecimentos neurocientíficos têm sido apresentados de forma superficial e desconectados do seu vínculo com esta área. A produção literária nacional mostra uma escassez de estudos das relações entre mente/cérebro e educação, os livros e materiais disponíveis são poucos, e aqueles que oferecem informações especializadas destinam-se a um grupo seleto de profissionais, como médicos e psicólogos, afastando-se das atividades do professor (CARVALHO, 2011). Além disso, temas neurocientíficos são pouco ou não inseridos na formação inicial do educador, cuja formação é fundamentalmente humanista, essencial para compreensão de vários aspectos envolvidos no ensino e aprendizagem, porém insuficiente diante da complexidade que envolve estes fatores (CONSENZA; GUERRA, 2011).

Diante do contexto apresentado, pode-se seguramente afirmar que a partir do conhecimento dos mecanismos neurocognitivos implicados à aprendizagem, comportamentos e emoções, os docentes podem desenvolver estratégias de ensino que amplifiquem a motivação dos alunos para aprender, tornando a atividade de ensinar ainda mais prazerosa (CARVALHO, 2011).

Neste momento, finaliza-se o conteúdo teórico referente à Neurociência. O capítulo seguinte será dedicado ao estudo da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Basicamente, é um capítulo que descreve os conceitos centrais desta teoria, como subsunçores, estrutura cognitiva e mapas conceituais, teoriza e distingue a aprendizagem significativa e mecânica, e finaliza com uma seção inteira sobre os substratos neurais dos conceitos centrais da teoria cognitivista de Ausubel.

4 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Existem várias teorias da aprendizagem. Entre as principais, podem-se distinguir dois grandes blocos: (1) *as teorias associacionistas ou de condicionamento* - as quais são compostas por duas correntes: (a) condicionamento clássico e (b) condicionamento operante; e, (2) *as teorias mediacionais* - compostas pelas seguintes correntes: (a) aprendizagem social; (b) teorias cognitivas; e, (c) teoria do processamento de informação (PÉREZ-GOMÉZ, 2000).

A teoria da aprendizagem significativa é uma teoria cognitiva. Foi desenvolvida por Ausubel na década de 60 do século passado. Um dos seus pontos centrais é que a variável que mais influencia a aprendizagem de novos conhecimentos são os conhecimentos que o aluno já possui e que servem como ponto de partida para novas aprendizagens. Dito em outras palavras, o ser humano aprende a partir daquilo que já sabe (MOREIRA; SPERLING, 2009).

Nas palavras do próprio Ausubel *et al.* (1978),

Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: de todos os fatores que influenciam a aprendizagem, o mais importante é aquilo que o aprendiz já sabe. Deve-se descobrir isso e ensinar de acordo (AUSUBEL *et al.*, 1978. p. iv).

Os conhecimentos que o aluno já possui em sua estrutura cognitiva são definidos por Ausubel como conceitos subsunçores ou simplesmente subsunçores, que funcionam como uma âncora ou ponte cognitiva para a aquisição de novos conhecimentos (MOREIRA, 2012).

Sobre os subsunçores, Tavares (2010) faz uma importante colocação:

Um aprendiz que tenha conhecimentos prévios sobre as características de mamíferos terrestres usará esses atributos quando se deparar com novas informações sobre mamíferos aquáticos. Esses conhecimentos (sangue quente, respiração através do oxigênio gasoso, gestação interna, etc.) auxiliarão a entender o comportamento dos mamíferos aquáticos, servirão como âncora na aquisição do novo conhecimento. Na interação entre o conhecimento novo e o conhecimento antigo ambos serão modificados de uma maneira específica por cada aprendiz, como consequência de uma estrutura cognitiva peculiar a cada pessoa. Depois do aprendizado sobre mamíferos aquáticos, o aprendiz terá uma concepção mais inclusiva sobre os mamíferos, onde antes só existiam os terrestres (TAVARES, 2010, p. 6-7).

O processo de aprendizagem significativa ocorre quando novas ideias ou informações interagem de forma não arbitrária e substantiva com aquilo que o

aprendiz já conhece. A terminologia “substantiva” quer dizer não literal ou não ao pé-da-letra, e não arbitrária significa que a interação não ocorre com qualquer ideia, mas com conhecimentos especificamente relevantes (por ex. imagens, símbolos, conceitos ou proposições) pré-existentes na estrutura cognitiva particular do indivíduo. Desta interação, que possui caráter ativo e integrador, emergem novos significados ou conhecimentos, que refletem a natureza substantiva e denotativa do produto interativo (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2012).

Ausubel (2003) ressalta que, para que ocorra a aprendizagem significativa, a estrutura cognitiva do aprendiz, necessariamente, precisa conter ideias ancoradas relevantes para se relacionar ao novo material, dando origem a significados verdadeiros ou psicológicos. A estrutura cognitiva de cada aprendiz é única e os conhecimentos adquiridos também são obrigatoriamente únicos.

Uma importante condição para que ocorra a aprendizagem significativa é a intencionalidade, ou seja, a vontade de aprender.

Nas palavras de Ausubel (2003),

A aprendizagem significativa exige que os aprendizes manifestem um mecanismo de aprendizagem significativa (ou seja, uma disposição para relacionarem o novo material a ser apreendido, de forma não arbitrária e não literal, à própria estrutura de conhecimentos) e que o material que apreendem seja potencialmente significativo para os mesmos, nomeadamente relacional com as estruturas de conhecimento particulares, numa base não arbitrária e não literal (AUSUBEL, 2003, p.72).

Desta forma, pode-se dizer que o aprendiz é um sujeito ativo no processo de aprendizagem, e pode decidir a maneira como quer assimilar os conteúdos. A motivação, entusiasmo, curiosidade e envolvimento do aprendiz são emoções consideradas positivas e são fundamentais para o aprendizado significativo (MOREIRA, 2012).

Durante a aprendizagem significativa o aprendiz consegue transformar o significado lógico do material pedagógico em significado psicológico, e articula este conteúdo da aprendizagem de maneira peculiar em sua estrutura cognitiva. As pessoas podem aprender significativamente um mesmo conteúdo, porém desenvolvem opiniões distintas sobre o mesmo em função da construção singular do conhecimento (TAVARES, 2008; TAVARES, 2010).

Ausubel (2003) propõe três tipos de aprendizagem significativa: representacional, conceitual e proposicional.

A aprendizagem significativa do tipo representacional (de representações) é bastante elementar, porém fundamental porque dela dependem os outros tipos de aprendizagem significativa. Ocorre quando determinados símbolos arbitrários (tipicamente palavras) passam a representar ou significar seus referentes (objetos, acontecimentos, eventos) em uma relação unívoca, ou seja, o símbolo representa somente seu referente (AUSUBEL, 2003, MOREIRA, 2012).

Nas palavras de Moreira (2012),

(...) se para uma criança a palavra mesa (um símbolo linguístico) significa apenas a mesa de sua casa, ela não tem ainda o conceito de mesa, apenas uma *representação*. O mesmo vale para um adulto frente a eventos e objetos em relação aos quais não identificou atributos e regularidades que definiriam o conceito correspondente (MOREIRA, 2012, p. 44)

A aprendizagem conceitual está bastante relacionada com a aprendizagem representacional. Ocorre quando o aprendiz percebe que os referentes descritos anteriormente apresentam certa regularidade, e passam a representá-los por um mesmo símbolo, geralmente linguístico. Assim, quando um sujeito apresenta o conceito⁸ de mesa, tal símbolo linguístico passa a representar todos os referentes concretos que apresentam atributos, propriedades e características comuns (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2012).

Ausubel (2003) define dois tipos de aprendizagem conceitual: (1) formação conceitual que ocorre principalmente em crianças; e, (2) assimilação conceitual que ocorre em escolares e adultos.

Segundo Ausubel (2003), os conceitos apresentam um papel importante na teoria da aprendizagem significativa.

Nas palavras deste autor,

(...) a compreensão e resolução significativas de problemas dependem amplamente da disponibilidade quer de conceitos subordinantes (na aquisição conceptual por subsunção), quer de conceitos subordinados (na aquisição conceptual subordinante), na estrutura cognitiva do aprendiz. Também é evidente que (1) os seres humanos interpretam experiências perceptuais 'em bruto' em termos de conceitos particulares nas suas estruturas cognitivas e (2) que os conceitos constituem os alicerces quer para a aprendizagem por recepção significativa de proposições declarativas, quer para a criação de proposições significativas para a resolução de problemas (AUSUBEL, 2003, p.3)

⁸ Segundo Ausubel (2003), conceitos são objetos, acontecimentos, situações ou propriedades que possuem atributos específicos comuns e são designados pelo mesmo signo ou símbolos.

Na aprendizagem proposicional, o intuito é aprender ou atribuir um significado às ideias expressas verbalmente em forma de proposições verbais. A aprendizagem proposicional requer a aprendizagem representacional e conceitual, mas uma proposição não significa a soma dos significados dos conceitos e palavras nela envolvidos (MOREIRA, 2012). Uma proposição potencialmente significativa consiste em uma ideia que “(...) se expressa verbalmente em uma frase que contém significados de palavras quer denotativos, quer conotativos, e nas funções sintáticas e nas relações entre as palavras” (AUSUBEL, 2003, p. 3). A aprendizagem proposicional pode ser subordinada, superordenada ou combinatória.

A teoria da aprendizagem significativa explica o processo de aquisição e organização das informações na estrutura cognitiva da seguinte maneira: uma nova informação potencialmente significativa (a) é assimilada e relacionada a um conceito mais geral ou subsunçor (A) presente na estrutura cognitiva do indivíduo, e tanto a nova informação quanto o subsunçor são modificados por esta interação, formando um subsunçor modificado representado por “a, A” (MOREIRA, 1999).

Uma das questões centrais na teoria de Ausubel é a distinção entre aprendizagem mecânica (ou memorística) e aprendizagem significativa. A aprendizagem significativa ocorre quando o aluno interpreta, incorpora e relaciona as novas informações com o conhecimento pré-existente em sua estrutura cognitiva, sendo capaz de aplicar as novas informações para resolver problemas em contextos diferentes (GONZÁLES *et al.*, 2008).

Segundo Ausubel (2003), é importante ressaltar que a aprendizagem significativa envolve a aprendizagem de material potencialmente significativo, mas aprendizagem significativa não é sinônimo de aprendizagem de material significativo. O aprendiz precisa apresentar um mecanismo de aprendizagem significativo, pois mesmo que o material contenha componentes significativos, isto é, seja logicamente significativo, ele pode ser aprendido por memorização ou mecanicamente (AUSUBEL, 2003).

A aprendizagem mecânica é muito utilizada pelos alunos e bastante conhecida pelos professores. Nesta, o aprendiz simplesmente memoriza as informações literalmente, de forma não substantiva, sem atribuir significado, sem compreensão, mas com a capacidade de aplicá-las em situações conhecidas, como provas escolares. Corresponde ao ensino tradicional, em que o professor apresenta a

matéria no quadro, o aluno copia, memoriza para o exame e, posteriormente, esquece (MOREIRA; SPERLING, 2009).

As novas informações aprendidas de forma mecânica se relacionam de forma literal e arbitrária com informações prévias presentes na estrutura cognitiva do indivíduo, e não resulta na aprendizagem verdadeira ou psicológica. O aprendiz consegue assimilar tarefas de aprendizagem simples, as quais tem um tempo de retenção bastante curto, a não ser que sejam bem aprendidas. Adicionalmente, é um tipo de aprendizagem bastante vulnerável a interferências de outros materiais aprendidos simultaneamente ou anteriormente (AUSUBEL, 2003).

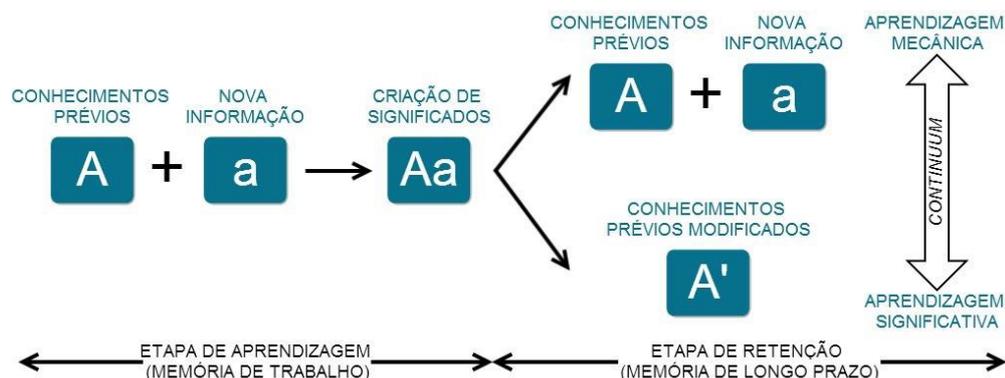
Na aprendizagem mecânica, há pouca ou nenhuma integração do novo conhecimento (a) com o conhecimento prévio (A), resultando em duas consequências negativas: primeiro, o conhecimento aprendido mecanicamente, se não for repetido, tende a ser esquecido rapidamente; segundo, na aprendizagem mecânica não acontece modificação da estrutura cognitiva do aprendiz, de modo que o conhecimento obtido tem pouco ou nenhum potencial de ser usado em resolução de problemas futuros (NOVAK; CAÑAS, 2010).

O esquecimento de materiais pode ocorrer tanto na aprendizagem por memorização quanto na aprendizagem significativa. Na aprendizagem por memorização, o esquecimento depende do nível da força de associação das ideias na estrutura cognitiva do aprendiz, bem como da diminuição desta força através da exposição a interferentes anteriores e posteriores semelhantes, armazenados ou adquiridos posteriormente (interferência pró e retroativa). Na aprendizagem significativa, o esquecimento depende da relação entre os novos materiais potencialmente significativos com as ideias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz, ou por obliteração, que é uma perda espontânea e gradual dos conhecimentos ou subsunçores presentes na estrutura cognitiva (AUSUBEL, 2003)

As informações decorrentes do aprendizado mecânico parecem permanecer temporariamente na memória operacional do indivíduo, e podem ser facilmente esquecidas e dificilmente utilizadas em contextos diferentes. Em contrapartida, durante a aprendizagem significativa, o processo de aquisição e organização das informações na estrutura cognitiva ocorre da seguinte maneira: uma nova informação potencialmente significativa (a) é assimilada e relacionada aos conhecimentos prévios (A) presentes na estrutura cognitiva do indivíduo, e tanto a nova informação quanto os conhecimentos prévios são modificados por esta interação (A') (Figura 1).

As informações aprendidas significativamente terão menores chances de serem esquecidas, pois permanecerão na memória de longa duração e estarão prontamente disponíveis para serem utilizadas em outros contextos (AGUIAR; CORREIA, 2013).

Figura 1 – Comparação entre aprendizagem mecânica e significativa de acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.



Fonte: Aguiar e Correia (2013, p. 144).

Contudo, é importante lembrar que a aprendizagem significativa e mecânica não são dicotômicas. Elas estão ao longo do mesmo *continuum*, e grande parte da aprendizagem ocorre na zona intermediária deste contínuo, ou seja, não é totalmente significativa nem inteiramente mecânica (MOREIRA; SPERLING, 2009).

Ausubel também propôs o conceito de organizadores prévios, definidos como recursos materiais introdutórios que fazem uma “ponte cognitiva” entre aquilo que o indivíduo sabe e o que precisa aprender. Esta estratégia busca manipular a estrutura cognitiva, facilitando o desenvolvimento de conceitos subsunçores e, conseqüentemente, a aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999). A utilização de organizadores prévios pode ser uma estratégia bastante útil para a aprendizagem de conceitos novos e complexos, como aqueles da área de genética.

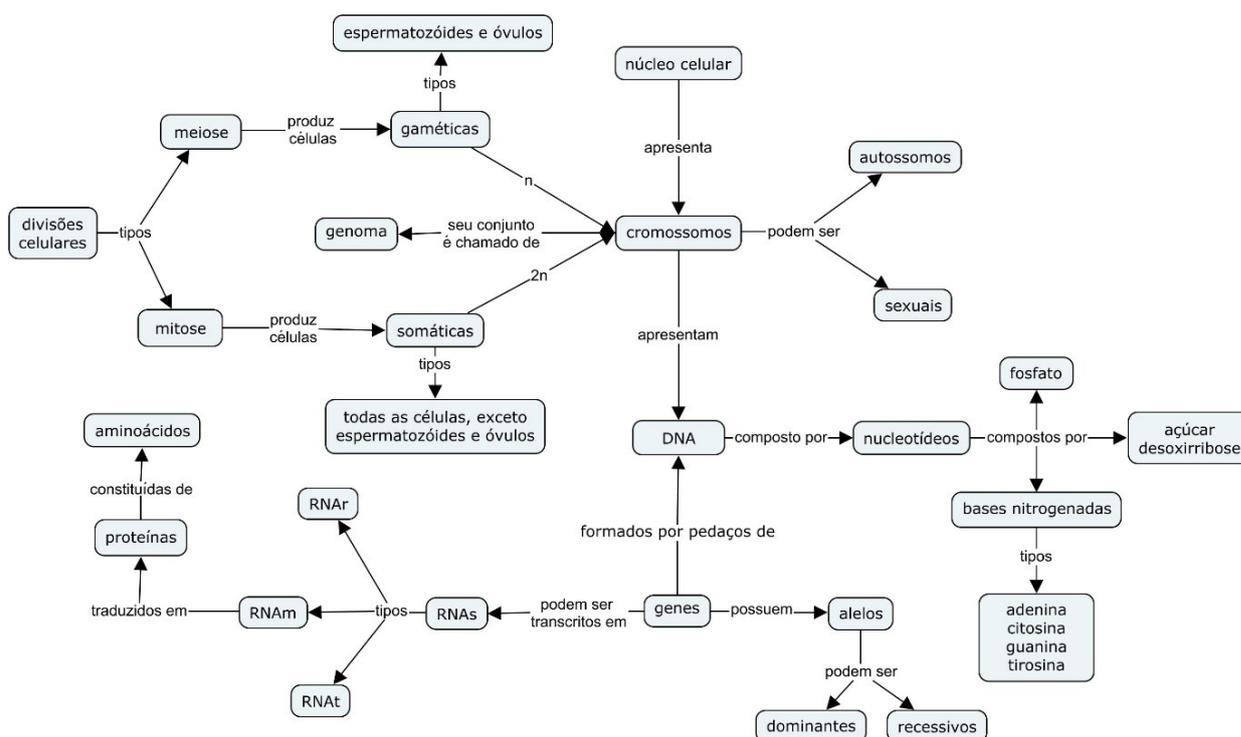
Com a aposentadoria de Ausubel, Novak é quem tem elaborado, refinado e divulgado a teoria da aprendizagem significativa, por isso seria mais adequado falar da teoria de Ausubel e Novak (MOREIRA, 1999). Em meados da década de 70, Novak e colaboradores criaram os mapas conceituais, que são ferramentas gráficas utilizadas para a organização e representação hierárquica do conhecimento (NOVAK; CAÑAS, 2010). Os mapas conceituais auxiliam na condução do aprendiz à aprendizagem significativa, por isso têm sido utilizados como estratégia pedagógica

para o ensino de diversos temas, possibilitando que conceitos sejam ensinados através do estabelecimento de relações entre eles (FREITAS FILHO, 2007). Além disso, os mapas conceituais funcionam como organizador curricular, disciplinar ou temático, assim como um instrumento avaliativo (CORREIA *et al.*, 2010; SOUZA; BORUCHOVITCH, 2010).

Nos mapas conceituais, os conceitos mais inclusivos ou gerais aparecem ao topo da hierarquia; os mais específicos estão dispostos hierarquicamente. Basicamente, os mapas conceituais (MC) apresentam círculos ou quadros contendo conceitos, e as relações entre eles são representadas por linhas que os interligam. As palavras sobre essas linhas (termos, palavras ou frases de ligação) especificam os relacionamentos entre dois conceitos (NOVAK; CAÑAS, 2010).

A Figura 2 mostra um MC dos principais conceitos básicos de genética trabalhados nesta tese.

Figura 2 – Mapa conceitual dos principais conceitos de genética trabalhados nesta tese.



Fonte: o autor

Foi observado, por exemplo, que o mapeamento conceitual contribuiu para reduzir os níveis de ansiedade e atitude negativa de estudantes de Biologia em

relação a conceitos de Genética e Ecologia, áreas tradicionalmente temidas pelos alunos do Ensino Médio e Superior (OKEBUKOLA; JEGEDE, 1989).

Em resumo, a aprendizagem significativa envolve a aquisição de significados, compreensão do conteúdo aprendido com possibilidade de explicação e transferência para outros contextos ou situações novas, assim como um período de retenção na estrutura cognitiva consideravelmente maior se comparado à aprendizagem mecânica (MOREIRA; SPERLING, 2009; MOREIRA, 2012).

4.1 ASPECTOS NEUROCIENTÍFICOS IMPLICADOS NA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Talvez Ausubel não estava interessado em questões neurocientíficas quando elaborou sua teoria. No entanto, faz uma profunda declaração neurobiológica quando destaca a importância dos conhecimentos prévios como ponto de partida para novas aprendizagens. Como descrito anteriormente, para Ausubel “(...) de todos os fatores que influenciam a aprendizagem, o mais importante é aquilo que o aprendiz já sabe. Deve-se descobrir isso e ensinar de acordo” (AUSUBEL *et al.*, 1978, p. iv). Segundo Zull (2002), o equivalente biológico desta afirmação seria: “O fator mais importante na aprendizagem são as redes neurais pré-existentes no cérebro do aprendiz. Verifique quais são e ensine em conformidade”.

Com esta afirmação, Zull (2002) nos faz entender que o fator mais importante na aprendizagem são as redes neurais existentes no cérebro do indivíduo. Assim, quando os professores descobrem o que seus alunos já sabem, também estarão descobrindo as características de suas redes neuronais e ficará mais fácil para os alunos adquirirem conhecimentos novos.

A respeito dos conhecimentos prévios, Zull (2002) desenvolveu três ideias importantes, a saber: (1) o conhecimento prévio é um fato, ou seja, todos os alunos têm; (2) o conhecimento prévio é persistente porque as conexões neurais são fortes; (3) o conhecimento prévio é o ponto de partida para novos conhecimentos.

As redes neurais passam por modificações durante o processo de aprendizagem significativa, formando novas sinapses e/ou conexões funcionais com outros neurônios, caracterizando a neuroplasticidade. Com o acréscimo contínuo de novas informações relevantes às informações na estrutura cognitiva, a qualidade e extensão das conexões neurais também se intensificam (NOVAK, 2010).

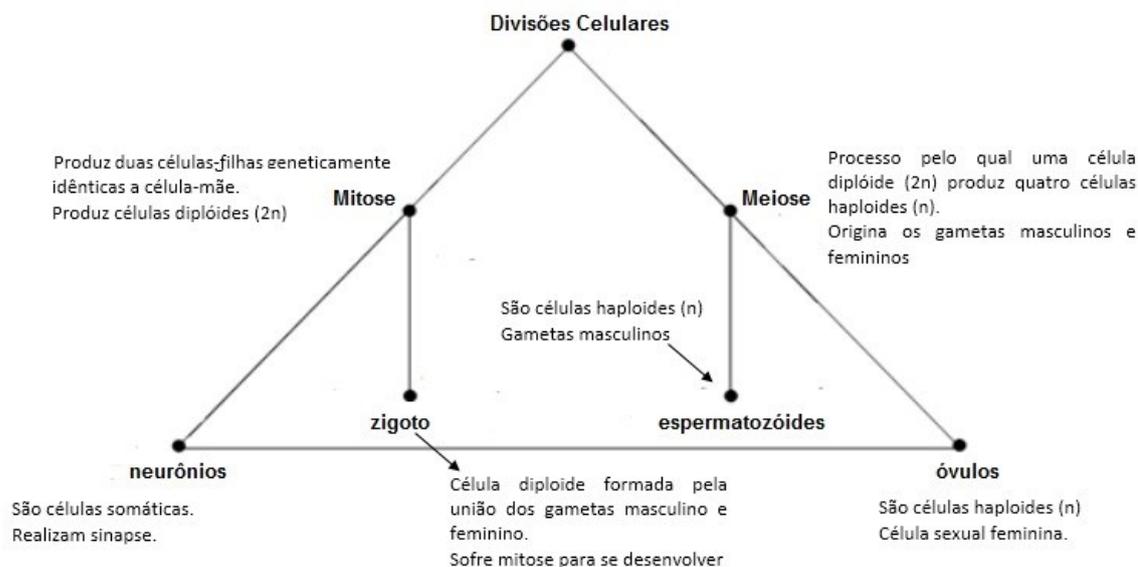
É importante ressaltar que a retenção das informações aprendidas mecanicamente também ocorre na memória de longo prazo (NOVAK; CAÑAS, 2010). Entretanto, a aprendizagem significativa necessita de um processo de retenção mais duradouro na memória de longo prazo, realizado pelo hipocampo e outras estruturas cerebrais descritas anteriormente. E mais, recentes estudos neurocientíficos sustentam a ideia central da teoria de Ausubel de que o conhecimento armazenado durante o aprendizado significativo é organizado no cérebro de forma diferente do conhecimento proveniente da aprendizagem mecânica (NOVAK, 2011).

A aprendizagem mecânica, apesar de apresentar um tempo de retenção menor, recruta uma rede neural complexa e distribuída em diversas áreas encefálicas, como córtex pré-frontal inferior esquerdo, área motora suplementar, córtex parietal posterior bilateral, cerebelo lateral e lobo temporal medial, incluindo o hipocampo (ROCHE *et al.*, 2009). Levando em consideração estas afirmações, parece provável que muitas informações provenientes da aprendizagem mecânica ficam retidas na memória de curto prazo e na memória de trabalho.

A memória de trabalho tem íntima relação com a aquisição de informações potencialmente significativas. Em um estudo com 21 estudantes do primeiro ano do Ensino Médio, García-Madruga e Fernández-Corte (1999) observaram que a capacidade de memória de trabalho desempenha um papel crucial no processo de aprendizagem significativa de conhecimentos históricos apresentados. Os organizadores prévios, descritos anteriormente, facilitam a aprendizagem significativa porque aumentam a eficácia de codificação da memória de trabalho e organização da memória de longo prazo (DEHN, 2008).

Já o conteúdo da memória de longo prazo, precisamente da memória semântica, apresenta-se organizado de maneira hierárquica, conforme o modelo adaptado de Collins e Quillian (1969), apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Ilustração da hipotética estrutura da memória de três níveis hierárquicos.



Fonte: Adaptado de Collins e Quillian (1969, p. 241).

Conforme este modelo, as informações presentes na memória semântica não estão armazenadas de maneira aleatória, mas sim organizadas em níveis hierárquicos. Mello (2008) coloca que os conceitos estão conectados entre si por relações de subordinação ou superordenação, em relações de categoria, funcionando assim como “nós” ou “nodos” em complexas redes semânticas. Assim, quando o indivíduo acessa conscientemente uma informação contida em um destes nodos, desencadeia uma ativação automática de outros conceitos com os quais compartilha propriedades de significado, sendo que a eficácia da ativação depende da força de associação dos nós, determinada pela quantidade de propriedades que as representações têm em comum e na distância entre elas.

Diante do apresentado e usando a Figura 3 como referência, se aquilo que foi armazenado com a palavra “neurônios” foram as frases “são células somáticas” e “realizam sinapse”, então se tem um nodo para mitose (nome da categoria superior), e nodos para duas propriedades, isto é, “são células somáticas” e “realizam sinapse”. As informações sobre o processo de mitose em geral (p. ex: produz células diploides ou somáticas), situadas em um nível hierárquico superior, não precisam ser armazenadas a cada tipo de célula somática memorizada (COLLINS; QUILLIAN, 1969).

Este modelo elaborado por Collins e Quillian (1969) também permite fazer predições acerca de como as informações são recuperadas na memória humana. Mais uma vez, considerando a Figura 3, para opinar se a afirmação “são células somáticas” é verdadeira, uma pessoa precisa apenas iniciar no nodo “neurônios” e recuperar as propriedades armazenadas. Além disso, para opinar sobre “os neurônios são células somáticas”, a pessoa precisa mover-se para um nível hierárquico acima (categoria mitose) para recuperar tal propriedade (COLLINS; QUILLIAN, 1969).

A estruturação hierárquica da memória humana assemelha-se ao conceito de mapa conceitual, cuja estrutura apresenta uma nítida semelhança com a fisiologia macroscópica neocortical⁹. De fato, o cérebro humano apresenta aglomerações hierárquicas de neurônios da memória, que crescem e aumentam durante toda a vida e podem ser graficamente representados em mapas conceituais (BALEY, 2005).

Os mapas conceituais funcionam como uma espécie de modelo para ajudar na organização e estruturação do conhecimento na memória de longa duração descrita anteriormente. Os dados da literatura ainda são insuficientes para esclarecer os mecanismos neurais que permitem o armazenamento de informações no cérebro humano, mas parece claro que as redes neurais que se estabelecem são complexas com muitas conexões entre neurônios. E mais, parece evidente que o cérebro busca organizar o conhecimento de forma hierárquica, e as abordagens de ensino que facilitam esse processo melhoram significativamente a capacidade de aprendizagem (NOVAK; CAÑAS, 2010).

Baley (2005), utilizando Hawkins (2004) como referência, afirma que o neocórtex apresenta quatro atributos principais que podem contribuir para elucidar os mecanismos biofísicos subjacentes ao mapeamento conceitual, a saber:

1. *O neocórtex armazena padrões mnemônicos em sequência*, e o processo de recordação ocorre da mesma maneira. A sequência é o bloco de construção da memória humana. Os indivíduos costumam lembrar padrões mnemônicos (alfabeto, discursos, filmes, músicas, conceitos, entre outros) na ordem em que foram armazenados. Desta forma, evocar elementos a partir do meio de uma sequência ou de forma inversa é mais complicado. Ex: evocar padrões como o alfabeto, números

⁹Neocortex – “novo córtex” ou “córtex mais recente” compreende a região evolutivamente mais recente do cérebro dos mamíferos. Esta região recobre os lobos cerebrais, apresenta cerca de 30 bilhões de neurônios, os quais estão divididos em seis camadas de neurônios com função e morfologia diferentes (BALEY, 2005).

de telefone entre outros ao contrário, é bastante difícil. É possível recitar o alfabeto de A a Z com muito pouco esforço porque memorizamos a sequência desde o início até o fim.

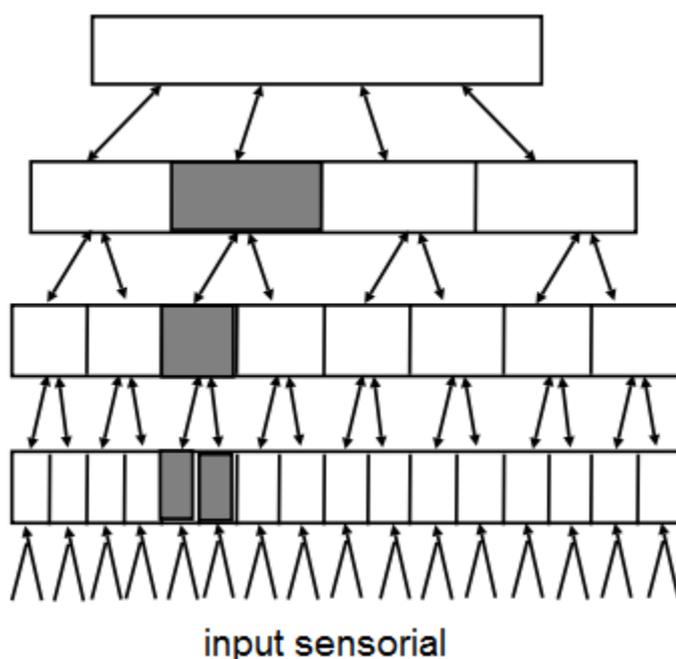
2. *O neocórtex recorda padrões mnemônicos de maneira autoassociativa.* O termo autoassociativa significa que os padrões mnemônicos estão associados com eles mesmos. Em um sistema de memória autoassociativo, uma pessoa pode recordar padrões completos quando em contato com elementos sensoriais em partes ou distorcidos, em que as pessoas visualizam partes de um objeto e conseguem identificá-lo completamente, preenchendo mentalmente o restante. Ex: uma pessoa está vendo parte de outra atrás de um arbusto; os olhos só veem partes do corpo, porém o cérebro preenche o resto, criando uma percepção da pessoa como um todo.

3. *O neocórtex armazena padrões mnemônicos de forma invariante.* Esta é uma característica que marcadamente distingue a memória humana da memória computacional. Esta última armazena dados em perfeita fidelidade, ou seja, exatamente como foram apresentados. Por isso, quando um programa da internet é baixado, cada *byte* precisa ser copiado com 100% de fidelidade, e um único erro inutiliza o programa. Os padrões mnemônicos armazenados no neocórtex são mais flexíveis, não estão em completa fidelidade, e o indivíduo não consegue lembrar exatamente aquilo que viu, sentiu ou ouviu. O cérebro humano recorda as relações, independente dos detalhes, o que é uma vantagem. Assim, se um indivíduo está familiarizado com um determinado objeto ou pessoa, certamente não terá dificuldades em reconhecê-los a partir de diferentes ângulos, momentos ou contextos.

4. *O neocórtex armazena padrões de forma hierárquica.* Hawkins (2004) desenvolveu um modelo computacional de aprendizagem e memória chamado Memória Temporal Hierárquica (HTM), para explicar o padrão hierárquico de armazenamento do neocórtex. O termo hierarquia não descreve relações de poder, mas sim o padrão de conectividade no interior e entre as seis camadas celulares do neocórtex. As informações provenientes dos sentidos (visão, tato, audição, etc.), ou *inputs* sensoriais, entram pelos níveis mais baixos da hierarquia e viajam através das redes neurais buscando células de memória associativas específicas, como mostra a ilustração apresentada na sequência (Figura 4). De acordo com o modelo HTM, os “padrões mais simples” aprendidos em níveis inferiores da hierarquia combinam-se com “padrões mais elaborados” armazenados em níveis hierárquicos mais altos. Assim, por exemplo, para aprender novas palavras não é necessário aprender o

alfabeto, ou para aprender novas frases de uma canção não é necessário aprender as palavras que a compõem.

Figura 4 – Modelo HTM do neocórtex. Este modelo apresenta de forma simplificada a conectividade hierárquica das regiões neocorticais em *feedback*.



Nota:

Os retângulos indicam seqüências de padrões mnemônicos aprendidos.

Fonte: Adaptado de Hawkins (2004, p. 83).

A estrutura cognitiva é um dos conceitos centrais da Teoria da Aprendizagem Significativa. O atual conhecimento das bases neurais da aprendizagem e cognição, o desenvolvimento das técnicas de neuroimagem e os modelos computacionais do comportamento cerebral permitem afirmar que há uma relativa concordância entre a fisiologia cerebral com o conceito de estrutura cognitiva proposto por Ausubel e outras teorias cognitivas. A estrutura cognitiva, do ponto de vista neurocientífico, é um tipo de rede neural, em cujo conjunto de células neurais se encontra as ideias ou conceitos, porém não se apresentam organizados de forma hierárquica, como postula a Teoria da Aprendizagem Significativa (PANIAGUA; VILLAGRÁ, 2008).

Ressalta-se que não somente a biologia do cérebro se modifica com o aprendizado. O processo de produção de conhecimento significativo também modifica a estrutura cognitiva do indivíduo, ampliando, diversificando e intensificando seu potencial, tornando-se assim, cada vez mais capaz de processar novas informações,

ancorando os resultados desse processamento num continuum aparentemente ilimitado (SILVA; BEZERRA, 2011).

Este momento denota o final do referencial teórico desta tese. O próximo capítulo será dedicado aos procedimentos metodológicos desta pesquisa.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, será apresentada a metodologia desta pesquisa. Serão apresentadas, a população e amostragem da pesquisa, além dos instrumentos de coleta de dados, o PNE e o tratamento dos dados.

5.1 POPULAÇÃO E AMOSTRA

Participaram desta pesquisa: o pesquisador, o professor de Biologia e os alunos do 3º ano do Ensino Médio, período da manhã, de uma escola pública do Estado do Paraná. O pesquisador foi o regente da maioria das atividades realizadas. Para seleção dos participantes, foram considerados os seguintes critérios:

- 63 alunos do 3º ano do Ensino Médio, período da manhã, de uma escola pública do Estado do Paraná.
- Alunos que entregaram assinado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e o Termo de Assentimento Informado Livre e Esclarecido (alunos menores de 18 anos).

Este trabalho ocorreu durante todas as aulas de Genética, conteúdo que integra a disciplina de Biologia do 3º ano do Ensino Médio. Foram aproximadamente dois bimestres (20 encontros), entre os meses de setembro a dezembro de 2015.

Todas as atividades realizadas foram supervisionadas pelo professor responsável pela disciplina, com a devida autorização institucional (Apêndice A). Além disso, este projeto encontra-se devidamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da UTFPR (Parecer 1.136.196 de 02 de julho de 2015).

5.2 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Para a realização desta pesquisa foram utilizados 8 instrumentos de coleta de dados, sendo 4 na avaliação inicial e 5 na avaliação final. Os instrumentos empregados na avaliação inicial tiveram o objetivo de caracterizar o universo de pesquisa, verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo básico de

genética, seu interesse, motivação e estilo de aprendizagem. Na avaliação final, aplicaram-se dois questionários para avaliar o conteúdo de genética trabalhado e os aspectos cognitivos (atenção visual concentrada e raciocínio abstrato) dos alunos.

Os testes e questionários aplicados nesta pesquisa foram utilizados em estudos anteriores, apresentando assim, consistência interna e fidedignidade.

5.3 PROCESSO DE INTERVENÇÃO

De forma geral, todo o processo de intervenção pode ser dividido em três grandes etapas:

1. Avaliação Inicial - também chamada de período pré-intervenção.
2. Aplicação do Programa de Ensino - também chamada de período intervenção.
3. Avaliação Final - também chamada de período pós-intervenção.

É importante ressaltar que no primeiro encontro com o pesquisador, todos os alunos receberam informações sobre a realização desta pesquisa, incluindo seus objetivos, justificativa, duração, procedimentos utilizados, possíveis riscos e benefícios, liberdade em recusar, participar ou abandonar a pesquisa em qualquer momento, garantia de sigilo das informações e assistência total em qualquer dano à integridade física ou psicológica decorrente da pesquisa. Em seguida, receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice B). Para os alunos menores de 18 anos, adicionalmente, também foi solicitado o preenchimento do Termo de Assentimento Informado Livre e Esclarecido (Apêndice C).

5.3.1 Avaliação Inicial

5.3.1.1 Caracterização do universo de pesquisa

Para a caracterização do universo de pesquisa, aplicou-se um questionário elaborado pelo pesquisador contendo questões pessoais gerais (nome, sexo, idade e estado civil), dados socioeconômicos e demográficos, além de questões relativas à dedicação dos alunos ao estudo de biologia e seu interesse por assuntos biológicos científicos (Apêndice D).

5.3.1.2 Determinação dos conhecimentos prévios

Os conhecimentos prévios ou subsunçores dos alunos sobre o conteúdo de Genética foi obtido por meio de um questionário elaborado por Paiva e Martins (2005). Este questionário (Anexo A) contém 10 questões abertas sobre diferentes temas da área de genética (Quadro 2). O questionário foi originalmente aplicado em alunos do terceiro ano de uma escola técnica federal e, apesar de algumas limitações, mostrou-se ser um método válido para avaliar o conhecimento dos alunos sobre os temas de genética (PAIVA; MARTINS, 2005).

Optou-se por utilizar este questionário nesta pesquisa, em virtude de apresentar questões abertas que abordam algumas das maiores dificuldades de alunos do ensino médio em compreender temas da área de genética (PAIVA; MARTINS, 2005). Além disso, este questionário é descrito no artigo “Concepções prévias de alunos de terceiro ano do Ensino Médio a respeito de temas na área de Genética”, publicado na Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, importante período na área de Ensino.

Das 10 questões presentes no questionário, três eram perguntas e sete eram afirmações. Para as questões afirmativas, o aluno deveria apontar se concordava ou discordava. Em caso de desacordo, o aluno deveria reescrever a questão de maneira correta. Já as questões em forma de perguntas requeriam uma resposta descritiva, uma justificativa do aluno (PAIVA; MARTINS, 2005).

Assim como no estudo de Paiva e Martins, (2005), não foi definido um gabarito ou modelo de respostas corretas ou erradas. Contudo, foram consideradas corretas as respostas ou justificativas que se aproximavam cientificamente do assunto em questão. Da mesma forma, foram consideradas erradas as respostas que fugiam totalmente do assunto (PAIVA; MARTINS, 2005).

Quadro 2 – Ideias e conceitos dos alunos que foram averiguados nas questões do questionário.

Questões	Conceitos avaliados
1 e 8	Conhecimentos sobre a interação entre genoma e ambiente, assim como o entendimento do desenvolvimento científico da Biologia Molecular.
2,3,4,5,7,8	Conhecimentos sobre a estrutura e a organização do material genético de diferentes organismos.
6,9 e 10	Capacidade de relacionar os conhecimentos científicos com questões do cotidiano e, também, com o desenvolvimento científico da Biologia Molecular.

Fonte: Paiva e Martins (2005, p. 6).

5.3.1.3 Questionário sobre o estilo de aprendizagem - Learning approach questionnaire (LAQ) (Anexo B)

É um questionário tipo Likert utilizado para classificar a inclinação dos alunos para dois tipos de aprendizagem: aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica (KILIÇ; SAGLAM, 2014).

Neste estudo, utilizou-se a versão do LAQ adaptada por Cavallo e Schafer (1994). Esta versão é composta por 22 itens divididos em duas subescalas: *aprendizagem significativa* (LAQ-S, itens 5,6,7,10,12-15,17,19,21) e *aprendizagem mecânica* (LAQ-M, itens 8,9,11,16,18,20 e 22-26) (KILIÇ; SAGLAM, 2014).

Cada questão do instrumento apresenta quatro opções de resposta: A (Nunca = 1 ponto); B (Raramente = 2 pontos); C (Quase Sempre = 3 pontos) e D (Sempre = 4 pontos). Uma pontuação alta na subescala LAQ-S indica que o estudante apresenta uma alta inclinação para a aprendizagem significativa e vice-versa (KILIÇ; SAGLAM, 2014).

Estudos mostraram que ambas as subescalas apresentam índices aceitáveis de confiabilidade. Para a subescala LAQ-M os índices encontrados por Cavallo *et al.* (2004) e Kiliç e Saglam (2014) foram de 0.81 e 0.78, respectivamente. Para a subescala LAQ-R, os índices encontrados por Cavallo *et al.* (2004) e Kiliç e Saglam (2014) foram de 0.76 e 0.70, respectivamente.

5.3.1.4 Escala de avaliação da motivação para aprendizagem - EMAPRE (Anexo C)

A Escala de Avaliação da Motivação para Aprendizagem (EMAPRE) destina-se a avaliar a motivação e interesse dos estudantes para a aprendizagem. É uma

escala tipo likert, constituída por 28 itens, com três opções de resposta: Concordo (3 pontos), Não Sei (2 pontos) e Discordo (1 pontos). A pontuação mínima é de 28 pontos e a máxima é 84 pontos. É um instrumento destinado a estudantes do ensino médio com idade variando entre 14 a 20 anos (ZENORINI; SANTOS, 2010).

Os itens da escala são distribuídos em três tipos de metas: meta *aprender* (itens 01, 02, 05, 07, 10, 12, 14, 19, 21, 23, 25, 28), meta *performance-aproximação* (itens 03, 04, 08, 11, 13, 15, 17, 20, 24), e a meta *performance-evitação* (itens 06, 09, 16, 18, 22, 26, 27).

O EMAPRE possui índices aceitáveis de validade e precisão. A consistência interna da escala, medida pelo alfa de Cronbach, encontrou os seguintes resultados: 0.73 para a escala total, 0.80 para os itens da *meta aprender*; 0.76 para meta *performance-aproximação*, 0.73 para meta *performance-evitação* (ZENORINI; SANTOS, 2010).

Vale lembrar que o EMAPRE é um instrumento de uso exclusivo de Psicólogos. É recomendado pelo Conselho Federal de Psicologia, obtendo parecer favorável deste órgão em 24 de maio de 2013.

5.3.2 Aplicação do Programa Neurocientífico de Ensino

Para a realização da intervenção, inicialmente, as turmas A e B foram divididas nos seguintes grupos: Grupo Controle (GC) e Grupo Intervenção (GI). O Programa Neurocientífico de Ensino foi empregado somente no grupo GI. O GC recebeu os conteúdos de forma tradicional.

Para a escolha do GI, levaram-se em consideração os seguintes pontos:

- Notas e frequência nos bimestres anteriores.
- Estilo e Motivação para a aprendizagem.
- Interesse pelos conteúdos biológicos.

Os assuntos abordados neste programa foram os conceitos Básicos de Genética Molecular (como DNA, gene, cromossomos e divisão celular), Histórico da Hereditariedade, Primeira e Segunda Lei de Mendel, Bases Físicas da Hereditariedade e Heredogramas. O livro-texto utilizado como referência foi “Conexões com a Biologia. Componente Curricular: Biologia” de autoria de Rita H. Brockelmann - Editora Moderna, 2014.

As estratégias de ensino utilizadas neste programa basearam-se nos conhecimentos prévios dos alunos, para que os mesmos pudessem formular seus conceitos a partir de conceitos pré-existentes em sua estrutura cognitiva. As informações repassadas foram sempre contextualizadas, pois conforme Consenza e Guerra (2011, p. 48):

Terá mais chance de ser significativa aquilo que tenha ligações com o que já é conhecido, que atenda a expectativas ou que seja estimulante e agradável. Uma exposição prévia do assunto a ser aprendido, que faça ligações do seu conteúdo com o cotidiano do aprendiz e que crie as expectativas adequadas é uma boa forma de atingir esse objetivo (CONSENZA; GUERRA, 2011, p. 48).

O programa também contou com recursos didáticos multissensoriais, pois conforme Guerra (2011), os recursos didáticos multissensoriais são importantes para aumentar o acesso de informações depositadas no cérebro e para ativar múltiplas redes neurais que estabelecem associação entre si. Segundo Ramos (2014), os recursos multissensoriais (figuras, textos e sons) têm sido amplamente utilizados no estudo individual e em escolas, melhorando, potencialmente, a aprendizagem.

Desta forma, neste programa foram utilizados recursos estimuladores da percepção (visual, auditiva e tátil), atenção, memórias (especialmente operacional e de longo prazo), funções executivas, além de fatores intimamente vinculados com a aprendizagem, como as emoções e a interação social.

Segundo Consenza e Guerra (2011),

As gerações mais antigas aprendiam principalmente por meio dos textos escritos, mas os jovens atualmente têm à sua disposição uma imensa parafernália de material multimídia, principalmente através da internet, o que é muito bom, uma vez que há a oportunidade de se construir uma rede neuronal mais complexa. Neste caso, talvez o papel mais importante do professor seja auxiliar na seleção e orientação, para a exclusão das muitas informações pouco confiáveis ou irrelevantes (CONSENZA; GUERRA, 2011, p. 73).

Entre os recursos didáticos usados, pode-se citar: vídeos, imagens, jogos e outras atividades lúdicas, objetos virtuais de aprendizagem, modelos didáticos e um mapa conceitual.

É importante ressaltar que durante a confecção dos materiais, priorizou-se a utilização de equipamentos de baixo custo e facilmente disponíveis, como

instrumentos confeccionados com isopor, cartolina, lã, cola, imagens e vídeos baixados da internet.

As aulas foram planejadas com o intuito de facilitar a manutenção da atenção e expressão de emoções positivas (motivação, entusiasmo, curiosidade, envolvimento, desafio) em detrimento das emoções negativas (ansiedade, apatia, medo, frustração). Foram evitadas aulas de forma expositiva, os trabalhos aconteceram em grupo, seguidos de apresentação oral.

O professor promoveu desafios e competições com premiação, criou momentos para descontração e descanso. Estas últimas, além de facilitar a atenção, promovem uma higiene mental, importante para evitar a sobrecarga da memória operacional (CONSENZA; GUERRA, 2011).

Esta pesquisa apresenta um produto educacional um jogo didático, descrito com detalhes nos resultados desta tese.

5.3.3 Avaliação Final

5.3.3.1 Avaliação do conhecimento de genética.

Ao final do programa, todos os participantes (GC e GI) responderam os testes, a fim de avaliar seu conhecimento adquirido em genética.

5.3.3.1.1 Teste dupla-camada de conceitos de genética - Two-tier genetics concepts test (Anexo D)

É um instrumento desenvolvido por Kiliç e Saglam (2009). Tem como objetivo central avaliar o conhecimento de alunos do ensino médio acerca dos conceitos básicos de genética (como DNA, gene, cromatina e cromossomo), bem como as relações entre as divisões celulares e a herança genética (KILIÇ; SAGLAM, 2009; 2014).

Trata-se de um instrumento diagnóstico de duas-camadas (two-tier test), composto por 13 questões de múltipla escolha. Cada questão possui dois itens: o primeiro determina o conhecimento do aluno acerca de um tópico específico de genética e, o segundo, verifica o motivo da resposta ou justificativa dada pelo aluno.

Para que uma questão seja considerada correta, a resposta e a justificativa precisam estar correlacionadas (KILIÇ; SAGLAM, 2009; 2014).

O índice de confiabilidade e precisão encontrado neste teste foi de 0.86, quando aplicado em 231 estudantes turcos (KILIÇ; SAGLAM, 2009; 2014).

5.3.3.1.2 Teste dupla-camada para o diagnóstico de genética - Two-tier diagnostic instrument for genetics (Anexo E)

Este teste foi desenvolvido por Tsui e Treagust (2010). É um instrumento diagnóstico de duas-camadas (two-tier test) e composto por 12 questões objetivas, sendo três opções de resposta e quatro opções de justificativa.

Os itens do teste “Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética” (TSUI; TREAGUST, 2010), exigem diferentes graus de raciocínio genético, para resolver questões sobre genética clássica e molecular.

O teste utiliza seis tipos de raciocínio genético (Tipo I, Tipo II, Tipo III, Tipo IV, Tipo V e Tipo VI), conforme o quadro 3.

Quadro 3 – Os seis tipos de raciocínio requeridos no Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética.

		Dimensão do Raciocínio		
		Principiante ↔ Experiente		
		Raciocínio causa para efeito	Raciocínio efeito para causa	Raciocínio do Processo
Dimensão do Raciocínio (simples ↔ complexo)	Entre gerações	Herança monohíbrida: mapeamento genótipo para fenótipo. (Tipo II)	Herança monohíbrida: mapeamento fenótipo para genótipo. (Tipo IV)	Quadro de Punnett Meiose e Mitose (Tipo VI)
	Mesma geração	Herança monohíbrida: mapeamento genótipo para fenótipo. (Tipo I)	Herança monohíbrida: mapeamento fenótipo para genótipo. (Tipo III)	Mapeamento da informação na sequência do DNA, para prever a sequência de aminoácidos nas proteínas (Tipo V)

Fonte: Tsui e Treagust (2010)

O Teste Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética (TSUI; TREAGUST, 2010), engloba poucas questões sobre genética molecular (Questões 5, 7 e 12), divisão celular (questão 5), conceito de gene (questão 7) e proteínas (questão 12). A maioria das questões do teste (Questões 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10 e 11) abordam conhecimentos de conceitos da genética clássica, por exemplo, o conhecimento da relação entre genótipo e fenótipo, noções de dominância e recessividade, formação de gametas, interpretação do Quadro de Punnett e cálculos matemáticos básicos requeridos para resolver exercícios sobre a primeira lei mendeliana.

Este instrumento foi empregado para avaliar a compreensão de genética de alunos australianos dos 10º e 12º ano (TSUI; TREAGUST, 2010). Durante a pesquisa na Austrália, os pesquisadores observaram que o teste apresenta índices de confiabilidade e precisão significativos (coeficiente alfa de Cronbach 0.64), (TSUI; TREAGUST, 2010).

O Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem, o Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética e o Teste Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética são testes que apresentam índices de confiabilidade e precisão significativos, porém ainda não foram utilizados na população brasileira. Por isso, a partir deste estudo e tradução, outros pesquisadores poderão fazer uso dos mesmos em suas pesquisas.

5.3.3.2 Avaliação Cognitiva

Ao final do programa, todos os participantes (GC e GI) responderam os testes a seguir, a fim de avaliar sua capacidade de atenção visual concentrada e raciocínio abstrato.

5.3.3.2.1 Teste de atenção D2

O teste de atenção D2 foi desenvolvido por Rolf Brickenkamp, em 1962. É um instrumento que avalia a atenção concentrada visual, podendo ser utilizado para determinar a capacidade de concentração dos indivíduos (BRICKENKAMP, 2000).

É um teste comumente utilizado em avaliações psicotécnicas, e em contextos ou profissões que exijam atenção visual e concentração. O teste de atenção D2 pode ser um importante instrumento diagnóstico na área clínica, escolar e organizacional, podendo ser útil em experiências psicofarmacológicas (BRICKENKAMP, 2000).

Neste teste, a tarefa do sujeito consiste em riscar todas as letras “d” que estejam acompanhadas de dois traços, sejam dois traços em cima, dois traços em baixo ou um traço em cima e outro em baixo, os quais estão misturados a traços e letras análogas, como a letra “p”. São 14 linhas contendo 47 sinais. O tempo limite é de 20 segundos para cada linha. A duração total do teste é de 4 minutos e 40 segundos (BRICKENKAMP, 2000).

O teste fornece um Resultado Bruto (RB) referente ao número total de sinais marcados pelo indivíduo. Do RB, obtém o total de erros (TE) e o Resultado Líquido (RL). O TE é convertido em porcentagem de erros (E%), através da fórmula: $E\% = TE \times 100 / RB$ (BRICKENKAMP, 2000).

O teste também determina a amplitude de oscilação (AO). Para obter este parâmetro, identifica-se a linha onde o indivíduo marcou o maior número de sinais e a linha onde marcou o menor número. Posteriormente, a amplitude de oscilação (AO) é calculada através da diferença entre o maior e o menor número de sinais.

O teste de atenção D2 encontra-se padronizado para ser utilizado na população brasileira. A amostra da padronização brasileira foi de 3417 sujeitos, entre profissionais e escolares. O índice de precisão foi obtido pela divisão do teste em linhas pares e ímpares e pelo reteste após 45 dias. As correlações, corrigidas pela fórmula de Spearman-Brown foram: 0,96 para o RB, 0,97 para o RL, 0,93 para o E% e 0,35 para o AO. No reteste as correlações obtidas foram: 0,86 para o RB, 0,85 para o RL, 0,57 para o E% e -0,056 para o AO (BRICKENKAMP, 2000).

Este teste é destinado a indivíduos de 9 a 52 anos, podendo ser aplicado individual ou coletivamente (BRICKENKAMP, 2000). Nesta pesquisa, o teste foi aplicado em grupos formados de até seis alunos.

O teste de atenção D2 é um instrumento de uso exclusivo de Psicólogos. É recomendado pelo Conselho Federal de Psicologia, obtendo parecer favorável deste órgão em 11 de abril de 2003.

5.3.3.2.2 Prova de raciocínio abstrato (RA)

A Prova de Raciocínio Abstrato (RA) é um dos subtestes da Bateria de Provas de Raciocínio. Esta bateria também inclui os subtestes de Raciocínio Mecânico (RM), Raciocínio Espacial (RE), Raciocínio Verbal (RV) e Raciocínio Numérico (RN). Trata-se de um instrumento rápido e eficiente para a avaliação das habilidades cognitivas

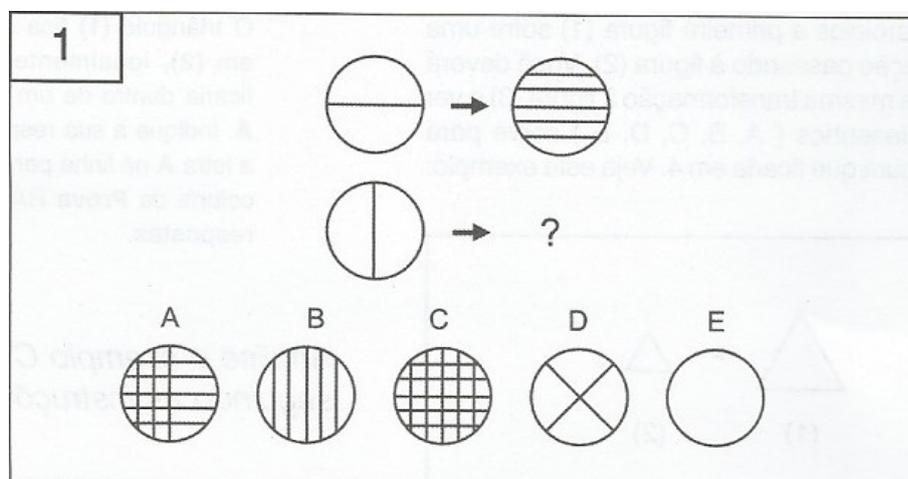
do indivíduo (ALMEIDA; PRIMI, 2015; BAUMGARTL; NASCIMENTO, 2004; PRIMI; ALMEIDA, 2000).

Nesta pesquisa, optou-se por avaliar somente a capacidade de raciocínio abstrato dos alunos. Isso se justifica pela conhecida natureza abstrata dos conteúdos de genética, fator amplamente mencionado na revisão teórica desta tese.

A Prova de RA associa-se, principalmente, à inteligência fluida (Gf), descrita na terceira seção do 3º Capítulo desta tese. Esta prova tem por objetivo avaliar a capacidade do indivíduo em estabelecer relações abstratas em situações novas para as quais se possui pouco conhecimento previamente aprendido. É constituída por 25 itens de conteúdo abstrato, envolvendo analogia com figuras geométricas Raciocínio (ALMEIDA; PRIMI, 2015; PRIMI; ALMEIDA, 2000).

Nesta prova, o sujeito precisa descobrir a relação analógica entre as figuras geométricas A e B (A:B) e, posteriormente, aplicar o conhecimento na C para descobrir a D. São cinco alternativas de resposta (a, b, c, d, e) e o tempo limite do teste é de 12 minutos (ALMEIDA; PRIMI, 2015).

Figura 5 – Questão da Prova de Raciocínio Abstrato.



Fonte: Almeida e Primi (2015).

O teste pode ser aplicado individual ou coletivamente. Nesta pesquisa, o teste foi aplicado em grupos formados de até seis alunos.

A BPR-5 possui duas formas: forma A, destinada a alunos do 6º ao 8º ano do ensino fundamental, e a forma B, a qual deve ser aplicada em estudantes do ensino médio e superior (ALMEIDA; PRIMI, 2015; PRIMI; ALMEIDA, 2000).

O teste encontra-se padronizado para ser utilizado na população brasileira. Durante a padronização, Primi e Almeida (2000) aplicaram a bateria em 1243 alunos brasileiros e 472 alunos portugueses, que cursavam desde a sexta série do ensino fundamental até o terceiro ano do ensino médio. Os pesquisadores encontraram coeficientes de consistência interna variando de 0.62 a 0.84, e os de precisão, pelo método das metades, de 0.65 a 0.87. Além disso, encontraram uma relação positiva entre as notas escolares e os resultados no teste, chegando a atingir 0.54 ($p < 0.001$).

A BPR-5 é um instrumento de uso exclusivo de Psicólogos. É recomendado pelo Conselho Regional de Psicologia, obtendo parecer favorável deste órgão em 11 de abril de 2003.

5.4 TRATAMENTO DOS DADOS

A tônica qualitativa desta pesquisa baseou-se na análise dos dados obtidos pelos instrumentos de coleta de dados aplicados no período pré e pós-intervenção, além dos dados obtidos durante a aplicação do Programa Neurocientífico de Ensino.

Os resultados do Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem, o Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética, Teste Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética, Escala de Avaliação da Motivação para a Aprendizagem (EMAPRE), Prova de Raciocínio Abstrato e o Teste de Atenção D2 foram descritos e analisados quantitativamente, e os dados serão expressos em média \pm Desvio Padrão da Média (DPM), com a utilização do programa *Graphpad Prism* versão 5.0. As diferenças estatísticas entre as médias serão determinadas pelo Teste t de Student's. Os dados serão considerados significativamente diferentes quando $p < 0,05$.

O Coeficiente de Correlação Linear (r) ou Coeficiente de Pearson foi empregado nesta pesquisa para estabelecer a relação entre o somatório dos resultados obtidos nos testes de genética (Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética e Teste Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética) com os dados obtidos no Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem e na Escala de Motivação para a Aprendizagem (EMAPRE).

O valor de r varia de $-1 \leq r \leq +1$. Quanto mais próximo de $+1$, mais intensa e positiva a relação linear entre duas variáveis, e vice-versa. Valor de $r = 0$ representa ausência de correlação entre duas variáveis.

5.5 RELAÇÕES ENTRE OS CONTEÚDOS ABORDADOS, INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O Quadro 4, abaixo, visa estabelecer uma relação entre os conteúdos abordados no referencial teórico, instrumento de coleta de dados e objetivos específicos desta tese.

Quadro 4 – Referencial Teórico X Instrumento de Coleta de Dados X Objetivos Específicos.

Referencial Teórico	Instrumento de Coleta de Dados	Objetivos Específicos
<ul style="list-style-type: none"> - Considerações sobre o Ensino de Genética - Teoria da Aprendizagem Significativa - Aspectos neurocientíficos implicados na Teoria da Aprendizagem Significativa 	<ul style="list-style-type: none"> - Questionário para avaliação de conhecimentos prévios de Paiva e Martins (2005) 	<p>Verificar os conhecimentos prévios dos alunos (subsunoeres) acerca de conhecimentos básicos de genética.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Teoria da Aprendizagem Significativa - Aspectos neurocientíficos implicados na Teoria da Aprendizagem Significativa - Neurociência da Aprendizagem e Memórias e das principais funções cognitivo-emocionais relacionadas a esses processos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Questionário avaliativo inicial - Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem - Escala de Avaliação da Motivação para Aprendizagem (EMAPRE) 	<p>Avaliar o interesse por conteúdos biológicos, motivação e estilo de aprendizagem dos alunos.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Considerações sobre o Ensino de Genética 	<p>Jogo das Três Pistas</p>	<p>Analisar a eficiência da aplicação de um jogo didático, produto desta pesquisa, para avaliação de conceitos básicos de genética no período pós-intervenção.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Neurociência da Aprendizagem e Memórias e das principais funções cognitivo-emocionais relacionadas a esses processos 	<ul style="list-style-type: none"> - Prova de Raciocínio Abstrato (RA) - Teste D2 de atenção 	<p>Verificar a influência de aspectos cognitivos na aprendizagem de genética.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Considerações sobre o Ensino de Genética. - Aprendizagem Significativa - Aspectos neurocientíficos implicados na Teoria da Aprendizagem Significativa - Neurociência da Aprendizagem e Memórias e das principais funções cognitivo-emocionais relacionadas a esses processos 	<ul style="list-style-type: none"> - Questionário avaliativo inicial - Questionário para avaliação de conhecimentos prévios de Paiva e Martins (2005) - Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem - Escala de Avaliação da Motivação para Aprendizagem (EMAPRE) - Teste Dupla-Camada de Conhecimentos de Genética (KILIÇ <i>et al.</i>, 2009). - Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética (TSUI; TREAGUST, 2010). 	<p>Relacionar os dados obtidos pelos instrumentos de coleta de dados no período pré-intervenção com os resultados obtidos nos testes de conhecimentos de genética aplicados no período pós-intervenção.</p>

Fonte: o autor

No capítulo seguinte, serão apresentados os resultados e discussões desta pesquisa, desde o processo de avaliação inicial, a aplicação do PNE e a avaliação final, buscando responder sequencialmente os objetivos específicos propostos nesta tese.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro contato do pesquisador com os alunos participantes desta pesquisa aconteceu em 23 de setembro de 2015.

Ao entrar na sala de aula, de ambas as turmas do terceiro ano (turma A e B), período da manhã, percebeu-se uma grande euforia por parte dos alunos com o retorno do professor, que havia ficado mais de dois meses afastado. Alguns alunos gritaram, outros aplaudiram, assoviaram, alguns realizaram diversos comentários positivos, ressaltando a competência e carisma do professor.

Através de conversas informais com alguns alunos e outros professores durante a hora atividade¹⁰, pôde-se perceber que o professor em questão é considerado muito carismático, dedicado e competente, sendo o único do município que apresenta doutorado acadêmico e leciona no ensino básico.

Em ambas as turmas, o professor precisou acalmar a euforia dos alunos antes de apresentar o pesquisador. Após ser apresentado, o pesquisador comentou sobre sua formação, e repassou informações sobre a realização desta pesquisa, os objetivos, justificativa, duração, procedimentos utilizados, possíveis riscos e benefícios na participação da pesquisa, liberdade em recusar, participar ou abandonar a pesquisa em qualquer momento, garantia de sigilo das informações e assistência total em qualquer dano à integridade física ou psicológica decorrente da pesquisa. Em seguida, todos os alunos receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice B). Para os alunos menores de 18 anos, adicionalmente, foi solicitado o preenchimento do Termo de Assentimento Informado Livre e Esclarecido (Apêndice C).

Os alunos mostraram-se interessados em participar, porém não realizaram muitas perguntas sobre o desenvolvimento da pesquisa. Desde o início, mostraram-se confortáveis com a presença do pesquisador. No entanto, quando mencionado que haveria uma turma que receberia o Programa Neurocientífico de Ensino e outra não, surgiram comentários do tipo: “Ah professor, escolhe a nossa turma!” (vários alunos de ambas as turmas); “Ah, com certeza vai escolher aqueles *caiporas* da turma A” (aluno da turma B).

¹⁰ A Lei Complementar Estadual n.174/2014, publicada no diário oficial n.9239, de 03 de julho de 2014, “concede a implantação da complementação da hora atividade aos integrantes do cargo de Professor no exercício da docência da Rede Estadual de Educação Básica do Paraná”. (PARANÁ, 2014).

Desde o primeiro contato com os alunos de ambas as turmas, percebeu-se que o professor que participou desta pesquisa é um sujeito motivador. Segundo Castelão e Amabis (2008), quando tem “didática” e gosta de ensinar, o professor torna-se um sujeito motivador externo para a aprendizagem significativa de genética. Contudo, vale lembrar que todos os professores, em qualquer nível de ensino, apresentam uma forma de didática, que pode ser tradicional ou moderna¹¹ (RODRIGUES *et al.*, 2011).

Castelão e Amabis (2008) afirmam que os alunos consideram “um bom professor” aquele que busca contextualizar o conteúdo, realizar aulas práticas e utilizar recursos didáticos diferenciados. Neste estudo, como será relatado adiante, o conteúdo foi sempre contextualizado, e utilizaram-se diversos recursos didáticos, como animações, imagens, vídeos, maquetes entre outros, que juntos integram o Programa Neurocientífico de Ensino, descrito na sequência deste capítulo.

6.1 AVALIAÇÃO INICIAL

O início das atividades aconteceu oficialmente no segundo encontro. Neste, foi realizada a aplicação de um questionário avaliativo inicial (Apêndice D), produzido pelo próprio pesquisador. Responderam ao questionário 63 alunos, sendo 34 da turma A e 29 da turma B. A turma A estava composta por 18 meninos e 16 meninas, e a turma B por 19 meninos e 10 meninas. Em relação ao estado civil, somente uma aluna da turma B declarou-se casada.

Na época do estudo, aproximadamente 53% dos alunos da turma A residiam na zona rural e 88% possuíam casa própria. Da turma B, 65% dos alunos informaram residir na zona urbana, e 76% declararam viver em casa própria.

A maioria dos alunos, de ambas as turmas, informou possuir uma renda familiar composta de dois a três salários mínimos. Observou-se, também, que a turma B apresenta um número significativo de alunos com renda mensal de até 1(um) salário

¹¹De forma geral, Rodrigues *et al.* (2011) afirmam que a didática tradicional é centrada na atividade do professor, que é responsável por “transmitir” o conhecimento historicamente construído aos alunos, que são considerados sujeitos passivos no processo de aprendizagem. A didática moderna, ao contrário, é centrada no aprendiz, que são sujeitos ativos no processo de aprendizagem. O professor, segundo a didática moderna, é um mediador e facilitador da aprendizagem, orientando e incentivando seus alunos a buscar ou localizar as informações potencialmente significativas.

mínimo. Os alunos da turma A, ao contrário, apresentaram um número significativo de alunos cuja renda familiar supera os quatro salários mínimos.

Quanto ao tempo de estudo semanal de Biologia, a maioria dos alunos, de ambas as turmas (turma A = 47% e turma B = 65%), informou dedicar menos de 1 hora por semana ao estudo deste conteúdo. Além disso, observou-se que uma proporção significativa de alunos (turma A = 41% e turma B = 31%) dedica 1 a 2 horas ao estudo de Biologia.

Entre os assuntos biológicos de maior interesse, percebeu-se que 52% dos alunos da turma B declararam se interessar por clonagem. Os alunos da turma A, ao contrário, parecem se interessar pelos diversos assuntos mencionados no questionário. Adicionalmente, notou-se também que aproximadamente 27% dos alunos desta pesquisa não demonstram interesse por assuntos biológicos científicos.

Conforme os dados acima, percebe-se que a maioria dos alunos, de ambas as turmas, não tem o hábito de estudar Biologia fora do âmbito de sala de aula. Assim, Biologia é um conteúdo que desperta pouco interesse nos alunos desta pesquisa.

A seguir, a tabela 1 apresenta de forma resumida as informações obtidas no Questionário Avaliativo Inicial.

Tabela 1 – Dados obtidos no Questionário Avaliativo Inicial.

		(continua)	
		Turma A	Turma B
Número de alunos		34	29
Sexo	Masculino	18	19
	Feminino	16	10
Média da idade		16.88	17.21
Residência	Zona Urbana	47%	65%
	Zona Rural	53%	35%
Casa	Própria	88%	76%
	Alugada	12%	24%
Renda familiar mensal	1SM	12%	31%
	2-3SM	41%	55%
	4-5SM	35%	7%
	+5SM	12%	7%
Tempo de estudo de biologia	-1h	47%	65%
	1-2h	41%	31%
	2-3h	3%	-
	3-4h	-	4%
	+4h	9%	-
Assuntos biológicos de interesse	Mapeamento genético	38%	17%
	Clonagem	38%	52%
	OGM	38%	21%

Tabela 1 – Dados obtidos no Questionário Avaliativo Inicial.

		(conclusão)	
		Turma A	Turma B
Assuntos biológicos de interesse	Células-Tronco	24%	10%
	Síndromes Genéticas	44%	14%
	Outros	17%	0%
	Nenhum	6%	21%

Fonte: Dados de pesquisa (2018)

Nos bimestres anteriores, também foram obtidos dados acerca do desempenho e da frequência dos alunos, de ambas as turmas. Estes dados estão presentes na tabela a seguir.

Tabela 2 – Desempenho e frequência dos alunos, de ambas as turmas, no primeiro e segundo bimestres.

Bimestre	Turma A		Turma B	
	Notas	Faltas	Notas	Frequência
1	87.80±5.18 ^a	0.38±0.74 ^b	78.83±11.01 ^a	0.82±0.82 ^b
2	83.68±7.81 ^c	2.47±1.76	75.07±12.70 ^c	2.39±2.06

Fonte: dados da pesquisa (2018)

Nota:

Os dados estão expressos como Média±Desvio Padrão. As letras (^{a b c}) acima dos números indicam as diferenças estatísticas de $p < 0.05$, usando t test two-tailed, $n = 34-29$ alunos/grupo. ^aDiferença estatística entre a média dos conceitos no 1º Bimestre. ^bDiferença estatística entre a média de faltas no 1º Bimestre. ^cDiferença estatística entre a média dos conceitos no 2º Bimestre.

Os dados da tabela 2 mostram que os alunos da turma A apresentaram conceitos significativamente melhores que a turma B em ambos os bimestres, ou seja, obtiveram maior número de acertos nas avaliações. Contudo, em relação à frequência, foram encontradas diferenças estatísticas somente no primeiro bimestre, em que a média de faltas dos alunos da turma B foi significativamente maior que da turma A.

6.2 AVALIAÇÃO DOS SUBSUNÇORES DE GENÉTICA

Ainda no segundo encontro, após responder ao questionário avaliativo inicial, os alunos, de ambas as turmas, formaram duplas para resolver o questionário elaborado por Paiva e Martins (2005) (Anexo A). Este questionário apresenta 10 questões abertas sobre o conteúdo básico de genética e, a análise das respostas emitidas pelos sujeitos de pesquisa, possibilitou levantar os conceitos prévios (subsunçores) dos alunos sobre alguns temas de genética.

As questões são agrupadas conforme os conhecimentos avaliados por elas. Assim, as questões 1 e 8 avaliam os conhecimentos sobre a interação entre genoma-ambiente e sobre o desenvolvimento científico da Biologia Molecular; as questões 2, 3, 4, 5 e 7 analisam o entendimento da estrutura e organização do material genético de diferentes organismos e as questões 6, 9 e 10 apreciam a capacidade de relacionar os conhecimentos científicos com questões do cotidiano e, também, com o desenvolvimento científico da Biologia Molecular (PAIVA; MARTINS, 2005).

A partir deste momento, para um olhar mais individualizado do processo de aprendizagem, os alunos da Turma A serão representados pela letra “A” (alunos A1, A2, A3...A34) e os alunos da Turma B serão representados pela letra “B” (alunos B1, B2, B3...B29).

6.2.1 Conhecimentos sobre a interação entre genoma-ambiente, assim como o entendimento sobre o desenvolvimento científico da Biologia Molecular (Questões 1 e 8)

Na questão 1, os cientistas afirmam que: “um clone de Mozart não será um novo Mozart, nem um clone de Hitler um novo Hitler”. Como resposta correta, Paiva e Martins (2005) sugerem a seguinte: “um indivíduo não é produto apenas de seu genoma, mas também do ambiente em que se desenvolve”. É uma questão que ressalta a interação genoma, organismo e ambiente para produzir um determinado fenótipo.

Esta questão foi respondida corretamente por 71% dos alunos da turma A (alunos A1, A5, A6, A8, A10, A12, A13, A15, A14, A18, A23, A24, A21, A22, A25, A26, A27, A29, A30, A31, A33, A34). Entre as respostas consideradas corretas, ressaltando o papel do ambiente no comportamento, estão as seguintes:

“Correto, pois mesmo que sejam geneticamente iguais, os clones podem não apresentar o mesmo comportamento” (A5 e A12).

“Sim, porque eles podem ter a mesma aparência, mas podem ter temperamentos diferentes” (A6).

“Concordamos com a afirmação, pois a clonagem ganha maior destaque fisicamente, não mentalmente” (A1, A22, A30).

“Concordo, (...) Mozart assim como Hitler, viveram em épocas diferentes, se tornariam novas pessoas com personalidades diferentes” (A25 e A34).

“O comportamento seria diferente, concordo com a afirmação” (A10).

Da turma A, considerou-se como respostas que não se relacionam ao conceito científico, as respostas dos alunos A2, A4, A7, A11, A17, A16, A19, A20 e A32. Como exemplo, podem-se citar as seguintes:

“Não, porque hoje as tecnologias estão mais avançadas”. (A11)

“Não, porque não tem como clonar uma pessoa idêntica” (A17).

“Um clone nunca será realmente um clone, pois um indivíduo jamais será geneticamente igual” (A2 e A20).

“Concordo, porque ninguém conseguirá fazer um clone idêntico” (A7 e A32).

Da turma B, aproximadamente 54% dos alunos responderam corretamente a questão (B1, B2, B4, B6, B8, B10, B13, B15, B16, B18, B22, B23, B25, B29). Vale lembrar que, nesta e nas questões seguintes, foram desconsideradas as respostas que não apresentavam uma justificativa, como as respostas “sim/não” ou “concordo/discordo”.

Nesta questão, as respostas sem justificativa corresponderam a 23% dos alunos da Turma B (B9, B17, B19, B24, B26, B28).

Da turma B, diversos alunos ressaltaram que um clone pode ter características físicas semelhantes ao indivíduo clonado, mas comportamentos, formas de pensar e personalidade diferente. Entre as respostas consideradas corretas apresentam-se as seguintes:

“Concordo, pois apenas a aparência pode ser reproduzida da mesma forma, mas o caráter deve ser moldado” (B2 e B23).

“Ele poderia ser exatamente igual em questão da aparência, mas sua forma de pensar seria diferente”. (B10 e B18).

“Concordo, porque você pode copiar o físico de outra pessoa, porém você não pode clonar a personalidade da pessoa”. (B4 e B22).

“Na aparência sim, mas não em seus atos, maneiras de pensar”. (B13).

Da turma B, consideraram-se como respostas que fogem do assunto, incompreensíveis ou errôneas, as seguintes:

“Não concordo, pois é impossível fazer clone humano” (B5)

“Não, a célula trocada não irá ficar perfeita como era antes” (B7, B14)

“Concordo, pois quando você clona algo, o mesmo vai ser e agir da mesma forma” (B3, B27)

No estudo de Paiva e Martins (2005), observou-se que em torno de 83% dos alunos formularam a resposta esperada.

Schneider *et al.* (2011) realizaram uma adaptação desta questão de Paiva e Martins (2005), que ficou na seguinte forma: “Se fosse feito um clone seu, você acha que ele seria totalmente igual a você, tanto fisicamente como comportamental”? Estes pesquisadores observaram que 98% dos alunos responderam de acordo com o esperado.

No estudo de Schneider *et al.* (2011), muitos alunos afirmaram que um clone poderia ter as mesmas características físicas do indivíduo clonado, mas não comportamentais, respostas semelhantes a uma parcela de alunos do presente estudo. Diante disso, se a questão fosse apresentada da mesma forma que a de Schneider *et al.* (2011), talvez o número de acertos neste estudo fosse maior.

A questão 8 foi assim formulada: “Os cientistas conseguiram identificar o código genético da espécie humana. Para você, isto seria suficiente para se fazer uma previsão de como um indivíduo vai ser no futuro? Explique sua resposta”.

Segundo Paiva e Martins (2005), uma sequência de DNA não determina o que um indivíduo será no futuro, pois as interações entre genótipo e ambiente também são importantes na constituição do indivíduo. Desta forma, nesta questão, foram aceitas

somente respostas que, de alguma forma, citaram a influência de fatores ambientais no fenótipo.

Cerca de 55% dos alunos da turma A responderam de acordo com o esperado (A1, A4, A5, A11, A12, A13, A14, A18, A19, A23, A21, A25, A27, A30, A31, A33 e A34). Os alunos da turma B apresentaram um desempenho muito parecido, pois cerca de 54% dos alunos (B2, B4, B8, B10, B13, B15, B16, B18, B22, B23, B25, B26, B28 e B29) acertaram a questão.

De ambas as turmas, entre as respostas consideradas corretas, podem ser citadas:

“Não! Pois o comportamento do ser humano muda dependendo até da alimentação e saúde”. (A4)

“Não é possível, pois os tempos mudam, tudo evolui, e o comportamento e a forma física também”. (A5, A12)

“Não, porque acho que a pessoa se modifica através do tempo e não se sabe exatamente como ela vai ser”. (A18)

“Não, os elementos do mundo (alimentação, tecnologia) mudam o ser humano”. (A25, A34)

“Não seria suficiente para saber nosso pensamento, talvez a aparência física sim”. (A1, A21, A30)

“Não seria suficiente, pois as espécies estão evoluindo com o passar do tempo, dessa maneira não tem como prever como vai ser no futuro”. (A33)

“Não, pois a genética não determina todos os comportamentos”. (B2 e B23)

“Não, pois o ser humano se adapta dependendo do lugar onde está, pois o clima e até o que comem é diferente em diversos lugares”. (B10 e B18)

“Não, pois os códigos genéticos podem ter modificações, mutações ou evoluções não previstas (...)” (B13)

Considerou incorretas, incompreensíveis ou incompatíveis com o tema proposto, as respostas dos alunos da turma A (A2, A6, A7, A8, A10, A15, A16, A17,

A20, A24, A22, A26, A29, A32) e da turma B (B1, B3, B5, B6, B7, B9, B12, B14, B17, B19, B24, B27). Como exemplos destas respostas, podem ser citadas:

“Não, porque cada um tem seu DNA” (A16)

“Não, pois isso não tem lógica” (A8)

“Sim, sabendo o código genético consegue deduzir como será a pessoa no futuro” (B3 e B27)

“Sim, porque hoje tem muita tecnologia” (B5)

“Não, por causa da alteração na ordem dos genes” (B1 e B6)

No estudo de Paiva e Martins (2005), o número de acertos para a questão 8 foi maior que no presente estudo. Já o estudo de Schneider *et al.* (2011), que utilizou a mesma questão para alunos do 3º ano do EM de uma escola pública da região Oeste do Paraná, o número de acertos foi significativamente menor que no presente estudo.

Schneider *et al.* (2011) trabalharam o conceito de gene através de um módulo didático que também possibilitou analisar a evolução dos estudantes no entendimento da interação entre gene-organismo-ambiente. Inicialmente, estes pesquisadores perceberam que somente 18% dos alunos declararam que não se pode prever o fenótipo de um sujeito considerando somente o seu genótipo. Como dado adicional, estes pesquisadores observaram que a maioria dos alunos apresentava uma concepção determinista do DNA, ou seja, que essa molécula determina todas as características do indivíduo, sejam físicas, comportamentais e patológicas.

Após a aplicação do referido módulo didático, Schneider *et al.* (2011) verificaram que os estudantes passaram a incluir o organismo em suas concepções sobre as interações entre genótipo e ambiente para produzir um fenótipo. Os autores concluíram que o ensino de genética é, muitas vezes, pautado em um discurso reducionista e determinista, por isso o professor de Biologia precisa elucidar sempre a interação mútua que ocorre entre o genoma, o organismo e o ambiente.

A partir dos resultados de ambas as questões, pode-se notar que somente um pouco mais da metade dos alunos, de ambas as turmas, mostraram conhecimento da interação genoma-organismo-ambiente, deixando claro que o ambiente pode influenciar características humanas, sejam físicas ou comportamentais. Contudo, ninguém declarou explicitamente que o genótipo de um organismo interage com o ambiente para produzir um fenótipo.

O pensamento predominante na pesquisa em Biologia é que múltiplos genes interagem com múltiplas variáveis ambientais (fatores abióticos, cultura, simbiontes) para produzir o fenótipo. Diversos estudos têm mostrado que os fatores ambientais podem mudar a expressão de alguns genes, fazendo com que alguns se manifestem ou não (ORGOGOZO *et al.*, 2015).

Segundo Dal-Farra e Prates (2004), pesquisas têm demonstrado que, embora haja a participação de genes em características importantes, a influência dos fatores ambientais, como educação recebida e o ambiente cultural são muito importantes na estruturação do comportamento humano.

6.2.2 Conhecimentos sobre a estrutura e organização do material genético de diferentes organismos (Questões 2, 3, 4, 5 e 7)

A pergunta 2 “Cromossomos sexuais são encontrados nas células da pele humana”. A resposta mais adequada, segundo Paiva e Martins (2005) seria “Errado, pois os cromossomos sexuais são encontrados em todas as células do organismo”.

Observou-se que os alunos, de ambas as turmas, concordaram com a afirmação, nenhum aluno soube justificar de forma clara, mostrando, portanto, total desconhecimento do assunto. Esta questão envolve o conhecimento básico sobre a estrutura e organização do material genético de diferentes organismos.

De ambas as turmas, dos poucos que concordaram, todos justificaram de forma distante do conceito científico:

“Sim, pois quando o homem e a mulher se encontram pele a pele estimulam os órgãos sexuais” (A7, A32)

“Eu acho que sim/não me lembro do assunto cromossomos, mas acho que sim” (B13).

“Concordamos, porque é um ser sexual” (B4, B22).

“Sim, os cromossomos são encontrados no ser humano” (B15).

De ambas as turmas, uma parcela dos alunos que discordaram da afirmação (Turma A = 19% e Turma B = 23%), apontaram como justificativa que os cromossomos sexuais se encontram apenas nos órgãos sexuais. Da turma A, responderam desta

forma os alunos A2, A4, A20, A22, A29 e A33 e da turma B, os alunos B3, B7, B8, B14, B16 e B27. Entre as respostas, pode-se citar:

“Não, porque cromossomos sexuais serão encontrados apenas em órgãos sexuais”. (A2, A20)

“Não, pois os cromossomos são encontrados em aparelhos reprodutores”. (A22, A29)

“Não, eles se encontram nos órgãos sexuais internos”. (B7, B14)

Não, cromossomos sexuais estão nos órgãos sexuais (B3, B27)

Os alunos A8, A10, A27 e A23 afirmaram que se os cromossomos sexuais fossem encontrados em células da pele humana, a reprodução poderia acontecer pelo simples toque pele a pele. Isto reflete uma grande confusão entre o tema cromossomo e reprodução sexuada.

“Não, porque cromossomos sexuais serão encontrados apenas em seus órgãos sexuais, afinal se tivéssemos cromossomos sexuais na pele acabaríamos reproduzindo ao encostarmos uns nos outros” (A23, A27).

“Não, pois ocorreria reprodução só no tocar na pele” (A8)

É importante ressaltar que a crença equivocada de que os cromossomos sexuais são encontrados apenas em órgãos reprodutivos ou em gametas permeou toda a presente pesquisa, como será descrito adiante. Isto ocorreu mesmo sendo declaradas inúmeras vezes que os cromossomos sexuais estão presentes em todas as células.

Segundo Paiva e Martins (2005), é importante que os alunos compreendam que os genes estão presentes em todos os tipos celulares, porém em alguns encontram-se inativos, ou seja, sobre um processo de regulação gênica.

Para a questão 3, “Cada cromossoma contém apenas um gene”, a resposta esperada seria “Errado. Cada cromossoma contém vários genes” (PAIVA; MARTINS, 2005). Nesta, observou-se que, da turma A, 71% dos alunos (A1, A2, A4, A5, A7, A10, A11, A12, A14, A15, A17, A18, A19, A20, A23, A21, A22, A26, A27, A29, A30, A32) e 69% dos alunos da turma B (B4, B5, B7, B8, B9, B10, B13, B14, B15, B16, B17, B18,

B19, B22, B25, B26, B28, B29) concordaram e justificaram corretamente com a afirmação. Contudo, os alunos da turma A apresentaram justificativas mais elaboradas que os alunos da turma B. Entre as respostas encontradas:

“Não, pois o cromossomo é a forma condensada do DNA que por sua vez contém uma grande quantidade de genes” (A23, A27)

“Não, porque o cromossomo possui uma grande quantidade de genes” (A2, A20)

“Não concordo, cada cromossomo possui mais de um gene” (B4, B22).

“Não, o cromossomo carrega uma carga genética complexa” (B15).

Observou-se que diversos alunos, de ambas as turmas, deram a resposta “Não, um cromossomo apresenta mais de um gene” (A1, A7, A11, A14, A15, A22, A26, A17, A18, A19, A21, A29, A30, A32) e da turma B (B4, B5, B7, B8, B9, B10, B14, B16, B17, B18, B19, B22, B25, B29). Esta justificativa não deixa claro se os alunos realmente sabem o significado dos conceitos presentes na afirmação.

Em ambas as turmas, foram encontradas algumas justificativas confusas ou incompatíveis com o proposto na afirmação: afirmativas do tipo “Não, tem 2 genes” (B1 e B3) ou “Não, ele pode ter vários conforme as misturas de genes” (B13), “Não, possui pares de alelos distintos” (B2 e B23), “Não, só tem um gene” (A6, A31). Estas concepções demonstram confusão entre o conceito de cromossomo, genes e alelos.

Nesta questão, foi possível observar que alguns alunos não aprenderam significativamente o conceito de DNA, gene e cromossomo, assim como a relação entre eles. Quando questionados, um aluno declarou “Discordo da frase, porém não sei o que é gene e nem cromossomo, mas já ouvi falar a respeito” (A33). Curiosamente, alguns alunos confundiram o material genético com célula “Cada célula do DNA contem 46 moléculas” (B25, B29).

Entender a relação entre DNA, gene e cromossomo é essencial para compreender novos conteúdos em genética. Para Paiva e Martins (2005),

(...) se esses conceitos não forem explicados de uma forma organizada, os estudantes talvez não sejam capazes de estabelecer uma relação entre eles. Geralmente em sala de aula, esses assuntos são apresentados de forma desconectada e, na maioria das vezes, devido à grande quantidade de conteúdos e a falta de tempo, não há oportunidade para o professor de levar os alunos a estabelecer uma relação lógica entre esses conceitos (PAIVA; MARTINS, 2005, p. 9)

De acordo com o calendário escolar, estes conceitos foram trabalhados em anos anteriores, no conteúdo de morfologia celular e biologia molecular. Contudo, tendo em vista o grande número de confusões e erros conceituais importantes, conclui-se que não ocorreu o aprendizado significativo.

A pergunta 4 “Cada célula interfásica do nosso corpo tem 46 moléculas de DNA”. Esta pergunta apresentou alto nível de dificuldade para os alunos. Observou-se duas respostas “Sim, tem 46 moléculas” (A13, A31) e “Não, achamos que não são 46 moléculas de DNA” (B7, B14), mas são questionáveis se os alunos conhecem ou não o conceito interfase.

Muitos alunos deixaram claro que não sabiam o significado da afirmação (A14, A18, A23, A22, A27, A29, B1, B3, B4, B5, B6, B10, B13, B15, B18, B22, B27) e outros (A1, A5, A8, A10, A11, A12, A15, A16, A17, A19, A21, A24, A26, A30, B2, B12, B23, B24, B26, B28) atribuíram respostas sem justificativa (sim, não, concordo, discordo), as quais não foram consideradas.

Com base nas afirmações, infere-se que nenhum aluno sabe o significado do termo interfase. Assim como na pergunta anterior, esta questão também revelou verificar déficits na aprendizagem da relação entre DNA, gene e cromossomo. Até mesmo erros ortográficos foram encontrados.

Entre as respostas que claramente revelaram problemas na aprendizagem da relação DNA, gene e cromossomos, pode-se citar:

“Não, o que tem 46 é o cromossomo (A4)

“Concordo, pois cada par possui 23 moléculas, ou seja, $23 + 23 = 46$ ” (A2, A20)

“Não, o corpo inteiro tem 46” (A25, A34)

“Não faço ideia do que seja **interfásica**, mais tenho uma noção de DNA” (A33)

“Não, porque quem tem 46 **monéculas** é o cromossomo” (A6)

“Sim, cada molécula de DNA possui uma característica do corpo”
(A7, A32)

“Não, pois são 52 moléculas” (B8 e B16)

“Cada célula do DNA contém 46 moléculas” (B25 e B29)

“Não, nosso corpo tem 48 moléculas” (B9)

“Não, contém mais de 46 moléculas” (B17)

“Não, contém 48 moléculas” (B19)

A questão 5 perguntou: “Quanto maior o número de cromossomos mais evoluída é a espécie”. Segundo Paiva e Martins (2005), a resposta esperada para esta questão: “Errado. O número de cromossomas não está relacionado à evolução de uma espécie, afinal muitos organismos apresentam mais cromossomos que o ser humano”.

Da turma A, foram aceitas 55% das respostas (A1, A4, A5, A7, A12, A13, A14, A17, A21, A23, A24, A25, A27, A30, A31, A32, A34) e 42% da turma B (B2, B4, B7, B8, B14, B16, B22, B23, B24, B25, B29). Consideraram-se diversos tipos de respostas, porém os alunos da turma A justificaram com mais coerência o conteúdo formal que os alunos da turma B. Entre as afirmativas corretas, foram citadas:

“Não, porque existem espécies menos evoluídas que possuem mais cromossomos”. (A25, A34)

“Não, pois a quantidade de cromossomos varia de espécie para espécie, mas isso não é sinônimo que uma sp. é mais evoluída que a outra”. (A23, A27)

“Sim, depende da espécie há mais cromossomos e nem por isso é evoluída”. (A7, A32)

“Nem sempre, existem animais como o cachorro que possuem mais cromossomos que nós, porém não são racionais, ou mais evoluídos”. (A5, A12)

“Não, a evolução não depende apenas dos cromossomos”. (B8, B16)

“Não, pois algumas pessoas com síndromes genéticas possuem cromossomos a mais, mas isso não significa maior evolução”. (B2, B23)

Observaram-se, em ambas as turmas, respostas confusas e incoerentes, bem como uma confusão entre a relação entre a evolução biológica e cromossomo, pois alguns alunos afirmaram que a evolução não tem relação com os cromossomos. Entre as respostas incorretas, pode-se citar:

“Sim, é evolutiva” (A6)

“Não, pois os seres humanos não são evoluídos mais que os outros”. (A19)

“Não, porque tem espécies mais evoluídas que o ser humano”. (A22, A30)

“Discordo, acho que quanto menor, maior a espécie é desenvolvida”. (A33)

“Os cromossomos não têm a ver com a evolução e sim com a adaptação”. (B10, B18)

“Não tem nada a ver, o número de cromossomos não muda na evolução”. (B13)

A partir desta questão, percebeu-se que muitos alunos não entenderam que uma quantidade maior de cromossomos não determina o nível de evolução de uma espécie. Levando em conta que o tema “evolução” foi trabalhado no bimestre anterior, esperava-se que esse conhecimento estivesse presente na maioria das respostas dos alunos. Pelo contrário, a quantidade de informações confusas sobre a evolução biológica dá a percepção de que os alunos não aprenderam significativamente os conceitos evolutivos ou que o professor, na época responsável pela disciplina, não tenha repassado aos alunos a relação entre cromossomos e evolução biológica.

Aliás, como declarado acima, alguns alunos da turma B (B3, B22, B5, B10, B18, B13) equivocadamente responderam que os cromossomos não têm nenhuma relação com a evolução. É sabido que durante o tempo evolutivo ocorreram inúmeras mutações no material genético dos organismos, permitindo o surgimento de novas espécies no planeta, constituindo a biodiversidade encontrada nos tempos atuais.

Neste estudo e no de Paiva e Martins (2005), observou-se que mesmo afirmando que um número maior de cromossomos não significa ser mais evoluído, os

alunos não deixaram claro em suas respostas que a evolução implica em mudanças no material genético.

A questão 7 indagou “A quantidade de DNA nos seres vivos é a mesma? Por que você pensa assim?”. A resposta esperada seria que a quantidade de DNA varia conforme o número e tamanho dos cromossomos da espécie (PAIVA; MARTINS, 2005). Os alunos A5, A12, A16, A18, A24, B2, B23, B24 responderam que não sabiam a resposta desta questão.

Considerou-se como correta aproximadamente 67% das respostas dos alunos da turma A (A1, A2, A7, A10, A11, A13, A14, A15, A17, A19, A20, A21, A22, A23, A26, A27, A29, A30, A31, A32, A33) 69% da turma B (B1, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B10, B12, B13, B14, B15, B16, B18, B22, B25, B27, B29). Entre as respostas corretas, pode-se citar:

“Não é a mesma, porque tem espécies que tem mais, outras menos”. (A33)

“Não, porque a quantidade de DNA pode variar de um indivíduo para outro, como é o caso de pessoas com algum tipo de síndrome”. (A23, A27)

“Não, o DNA varia de cada tipo de espécie” (A31)

“Não, varia de cada espécie”. (B3, B27)

“Não, pois cada espécie tem a quantidade de DNA que define o que a espécie é. Se todos tivessem a mesma quantidade todas as espécies seriam iguais”. (B10, B18)

“Não, pois difere de seres humanos, plantas e animais” (B25, B29)

Nesta questão, consideraram-se vários tipos de respostas. Contudo, assim como no estudo de Paiva e Martins (2005), nenhuma resposta mencionou que a quantidade de DNA depende do tamanho e número de cromossomos que um organismo apresenta.

6.2.3 Capacidade de relacionar os conhecimentos científicos com questões do cotidiano e, também, com o desenvolvimento científico da Biologia Molecular. (Questões 6, 9 e 10)

A questão 6 indagou o seguinte: “É impossível um ser humano fazer uma refeição cotidiana sem comer DNA?” A resposta esperada para esta questão seria: “Certo. Todos os alimentos de origem vegetal e animal possuem células, que por sua vez possuem DNA”. Essa questão foi respondida e justificada corretamente pela maioria dos alunos de ambas as turmas. Foram consideradas como certas, cerca de 80% das respostas da turma A (A1, A2, A4, A6, A7, A8, A10, A11, A13, A14, A15, A17, A19, A20, A21, A23, A24, A25, A26, A27, A30, A31, A32, A33, A34) e aproximadamente 73% da turma B, (B1, B2, B3, B4, B6, B7, B8, B9, B13, B14, B15, B16, B17, B19, B22, B23, B25, B27, B29). Entre as respostas corretas, pode-se citar:

“Concordo, porque cada espécie de plantas e outras coisas que comemos possui seu DNA” (A14)

“Sim, pois todos os seres vivos possuem DNA, ou seja, ao comer vegetais estaremos comendo DNA” (A23, A27)

“Não, pois todo alimento possui DNA” (A25, A34)

“Não, pois tudo tem DNA (verduras, carnes...)” (B7, B14)

“Não, pois tudo o que é vivo tem DNA” (B8, B16)

Sim, é impossível, porque a maioria dos alimentos contêm DNA, mesmo na mastigação o ser humano engole sua saliva e seu próprio DNA. (B25, B29)

A questão 9 indagou o seguinte: “Já foi comprovado que o genoma humano tem uma similaridade de 99% com o do chimpanzé. Então, como você acha que pode ser possível identificar indivíduos e se determinar a paternidade através do DNA?”. A resposta esperada, de acordo com Paiva e Martins (2005) seria a de que “Existem regiões que são bastante variáveis entre as pessoas e que podem ser utilizadas nesse tipo de exame” (PAIVA; MARTINS, 2005).

Assim como no estudo de Paiva e Martins (2005), esta questão gerou grande dificuldade para os alunos. Considerou-se como corretas vários tipos de respostas, algumas mais completas e mais elaboradas que outras.

Os alunos da turma A apresentaram as melhores respostas. Foram consideradas como corretas, cerca de 42% das respostas da turma A (A1, A2, A4, A7, A14, A15, A19, A20, A21, A26, A30, A32, A33) e 46% da turma B (B1, B3, B4, B6, B8, B13, B16, B17, B22, B25, B27, B29). Entre as respostas corretas ou que mais se aproximaram foram:

“Porque em 1% estão as principais características de um indivíduo, aquelas que não se repetem em nenhum outro, o código genético que se encontra em apenas um indivíduo”. (A1, A21, A30)

“Porque o DNA de uma pessoa vem do pai e da mãe” (A7, A32)

“Porque o DNA dos pais é parecido com o dos filhos” (B4, B22)

Sim, pela quantidade de moléculas de DNA e a ordem dos genes. (B1, B6)

Aproximadamente, 31% dos alunos da turma B (B5, B9, B10, B12, B18, B19, B26, B28) e 35% da turma A (A5, A8, A11, A12, A17, A18, A23, A24, A25, A27, A34) responderam “não sei”, “sim ou não” ou sequer responderam.

Consideraram-se errôneas ou incompatíveis as seguintes respostas:

“Pois será muito próximo a aparência” (A10)

“Pode não ter o mesmo número de DNA, mais podem ter características parecidas” (A22, A29)

“Sim, porque ele tem 99%” (A6)

“Sim, pelo fenótipo” (B2, B23).

“Sim, porque a diferença é pouca” (B24)

“Sim, pois pelo DNA podemos identificar o parentesco” (B7, B14).

A questão 10 afirmou que “Um exame de DNA para averiguação de paternidade pode ser feito com qualquer tipo de material biológico de uma pessoa. Justifique”. Considerou-se como corretas, cerca de 65% das respostas dos alunos da turma A (A1, A2, A5, A7, A8, A12, A13, A14, A15, A19, A20, A21, A22, A25, A26, A29, A30, A31, A32, A34) e, aproximadamente, 73% das respostas dos alunos da turma B

(B1, B2, B3, B4, B6, B7, B9, B10, B13, B14, B15, B17, B18, B22, B23, B24, B25, B27, B29). Entre as respostas corretas, pode-se citar:

“Sim. Em todo o nosso corpo é encontrado o nosso DNA/código genético”. (A1, A21, A30)

“Sim, o exame pode ser feito através de fios de cabelo, unha, saliva [...] qualquer material genético que possa identificar parentesco. (A2, A20)

“Correto, desde que este material contenha o DNA”. (A5, A12)

“Sim, pois temos DNA em todo o nosso corpo”. (B1, B6)

“Sim, pois encontra-se DNA na saliva, cabelo e unhas por exemplo. Até mesmo num toque em algum objeto”. (B25, B29)

“Sim, porque todas as partes do ser humano contêm DNA” (B10, B18)

Entre as respostas confusas, incorretas e incompletas, consideraram-se as seguintes:

“Pelos meus conhecimentos é feito apenas por cabelo e sangue” (A11)

“Concordo porque é verdade” (B5)

Nesta última questão, assim como observado no estudo de Paiva e Martins (2005), nem todos as respostas apontaram que o material genético se encontra no interior das células, com exceção da resposta do aluno B15, que afirmou “Sim, todas as células do nosso corpo possuem DNA”.

As respostas encontradas nesta questão foram similares às encontradas no estudo de Pedrancini *et al.* (2011). Em seu estudo, os referidos pesquisadores verificaram que, quando o professor questionou seus alunos em quais células se encontra o DNA, a maioria se restringiu a células da pele, unha, cabelo e sangue. Os alunos mencionaram apenas os tipos celulares comumente usados pela medicina forense e testes de paternidade, que são amplamente divulgados em programas de televisão. Diante disso, suspeita-se que os alunos desconhecem a presença de DNA em outros tipos celulares como neurônios, células musculares, entre outros.

Com os resultados desta avaliação é possível responder ao primeiro objetivo específico desta tese, ou seja, “Verificar os conhecimentos prévios (subsunçores) dos alunos acerca de conhecimentos básicos de genética”.

De forma geral, percebeu-se na avaliação dos subsunçores de genética, que os alunos da turma A apresentaram maior número de acertos e respostas mais coerentes que os alunos da turma B. Ambas as turmas foram melhores nas questões envolvendo o conhecimento sobre a interação entre genoma-ambiente e aquelas sobre a capacidade de relacionar os conhecimentos científicos com questões do cotidiano e com o desenvolvimento científico da Biologia Molecular. Ambas as turmas apresentaram pouco conhecimento sobre a estrutura e organização do material genético de diferentes organismos, com diversas concepções equivocadas sobre o conceito e relações entre DNA, gene e cromossomo.

Os resultados revelaram que os alunos de ambas as turmas tiveram, significativamente, menos acertos e respostas menos elaboradas e coerentes que as observadas no estudo de Paiva e Martins (2005), em que o teste foi originalmente aplicado.

6.3 AVALIAÇÃO DO ESTILO DE APRENDIZAGEM DOS ALUNOS

Os alunos, de ambas as turmas, também responderam individualmente o Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem (em inglês, *Learning Approach Questionnaire ou LAQ*) (Anexo B). Este questionário visou obter informações sobre a orientação dos alunos para a aprendizagem, ou seja, orientação para o aprendizado significativo ou mecânico.

Comparando os resultados dos subtestes aprendizagem significativa x aprendizagem mecânica, percebeu-se que a maioria dos alunos, de ambas as turmas, apresentaram maior tendência ao aprendizado significativo que ao aprendizado mecânico. Contudo, observou-se que a média dos resultados dos alunos da turma A para o subteste de aprendizagem significativa (STAS) foram 21% maiores do que para o subteste de aprendizagem mecânica (STAS) (AS: 32.19 ± 3.84 vs AM: 26.53 ± 4.74 , $p < 0.0001$), enquanto que a diferença na média dos resultados obtidos pelos alunos da turma B foram somente 10% maiores (AS: 30.84 ± 4.97 vs AM: 27.92 ± 4.23 , $p = 0.03$).

A tabela 3 mostra com detalhes esta questão.

Tabela 3 – Resultados do Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem.

PARÂMETRO	TURMA A	TURMA B
Subteste aprendizagem significativa (STAS)	32.19±3.84*	30.84±4.97&
Subteste aprendizagem mecânica (STAM)	26.53±4.74	27.92±4.23

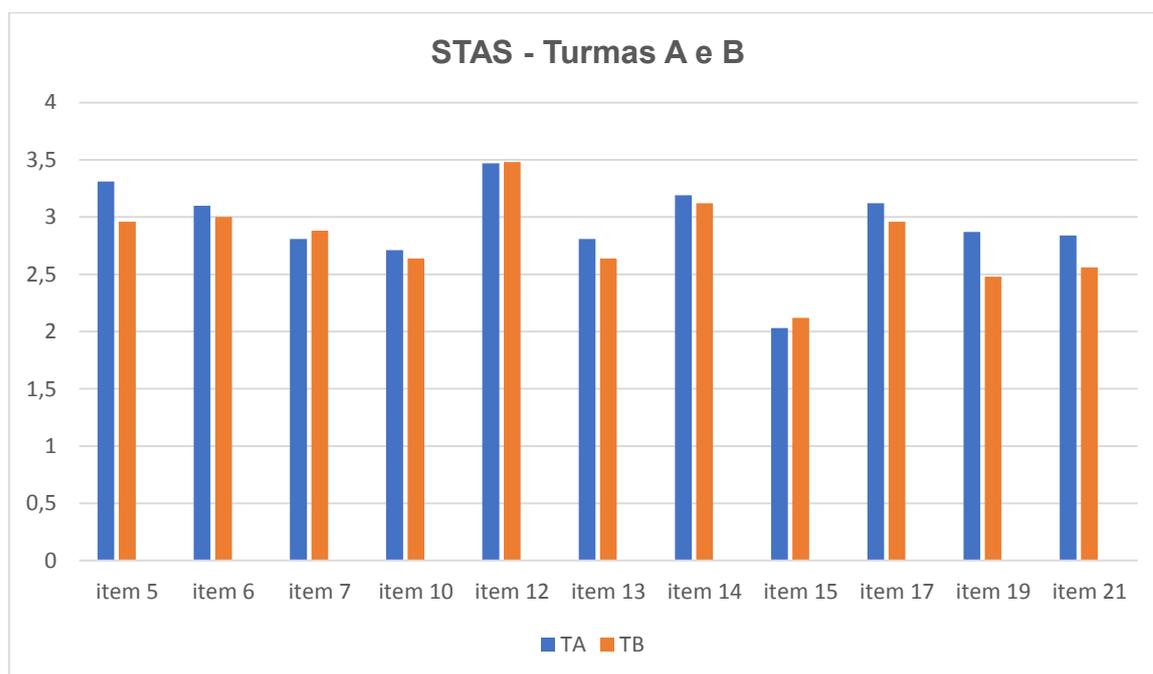
Fonte: dados da pesquisa (2018)

Nota:

Os dados estão expressos como Média ± Desvio Padrão. Os símbolos (*&) acima dos números indicam as diferenças estatísticas de $p < 0.05$, usando t test two-tailed, $n = 29-27$ alunos/grupo. *Diferença significativa entre os STAS e STAM na turma A. &Diferença significativa entre os STAS e STAM na turma B.

Ao comparar a média dos alunos de ambas as turmas, item por item do STAS, os resultados mostraram uma forte tendência de diferença estatística entre ambas somente no item 5 (TA: 3.31 ± 0.64 vs TB: 2.96 ± 0.79 , $p = 0.06$) e no item 19 (TA: 2.87 ± 0.75 vs TB: 2.48 ± 0.87 , $p = 0.07$).

O Gráfico a seguir mostra a pontuação média de cada turma em cada item do STAS.

Gráfico 1 – Pontuação média dos alunos, de ambas as turmas, em cada item do STAS.

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

No quadro 5, a seguir, é apresentada, detalhadamente, a resposta de cada aluno, de ambas as turmas, para cada item do STAS.

Quadro 5 – Resposta de cada aluno de ambas as turmas para cada item do STAS

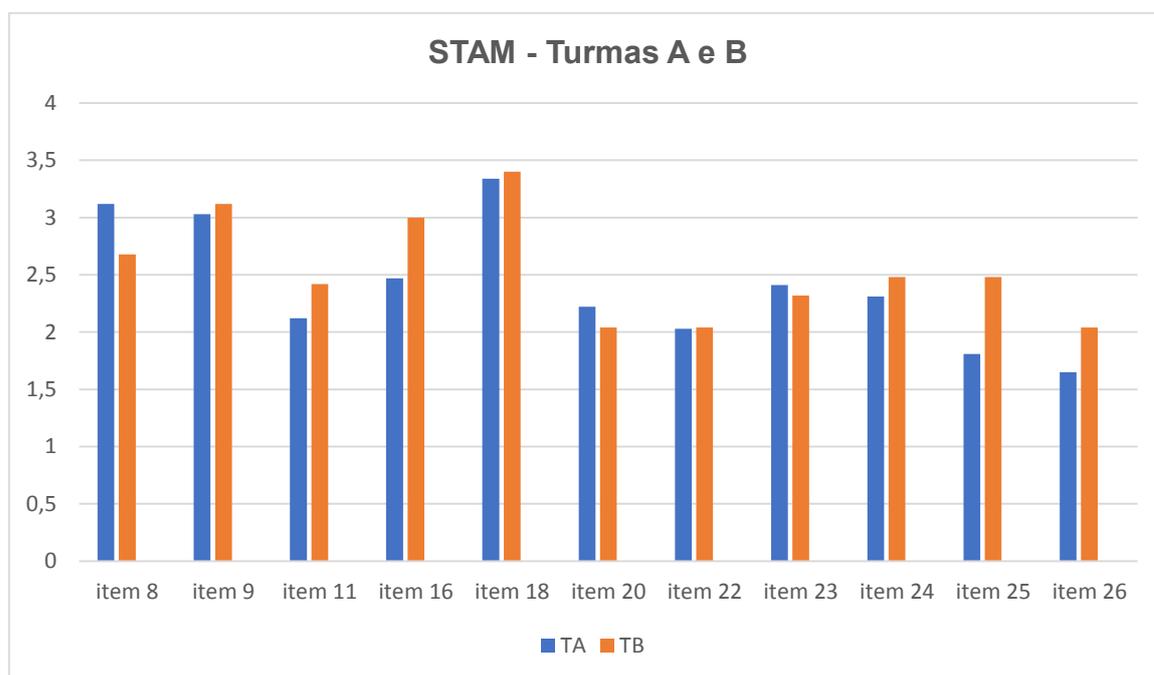
Item do STAS	Respostas			
	Sempre 4 pontos	Quase sempre 3 pontos	Raramente 2 pontos	Nunca 1 ponto
5. Eu geralmente me esforço para tentar entender os conteúdos que a princípio parecem difíceis.	A1, A3, A8, A10, A13, A16, A17, A18, A19, A25, A30, A32, A33, B4, B7, B10, B14, B26, B27, B28	A4, A5, A7, A9, A12, A14, A15, A20, A21, A22, A23, A24, A26, A27, A29, A31, B1, B3, B8, B9, B11, B20, B21, B22, B23, B29	A2, A28, A34, B5, B12, B13, B15, B16, B17, B18, B25	
6. Quando eu estou lendo, tento relacionar o material novo com aquilo que eu já conheço sobre um determinado assunto.	A3, A4, A9, A17, A20, A22, A28, A31, A33, A34, B1, B13, B16, B18, B21, B22, B23, B25, B28	A1, A7, A8, A10, A12, A13, A15, A16, A18, A19, A23, A25, A26, A29, A30, B4, B5, B7, B8, B10, B12, B14, B15, B20	A2, A5, A14, A21, A24, A27, A32, B3, B9, B26, B27, B29	B11, B17
7. Enquanto eu estou estudando, frequentemente penso em situações da vida real em que aquilo que estou aprendendo poderia ser aplicado.	A3, A9, A12, A21, A22, A24, A30, A31, A34, B4, B5, B9, B11, B13, B16, B28	A2, A5, A7, A10, A13, A18, A19, A20, A23, B7, B10, B14, B17, B18, B20, B21, B23, B26	A1, A4, A8, A14, A15, A16, A17, A25, A26, A27, A28, A29, A32, A33, B1, B3, B8, B12, B15, B22, B25, B27	B29
10. Eu reviso conteúdos importantes até entendê-los completamente.	A2, A5, A9, A12, A14, A18, A21, A32, B7, B23, B28	A1, A3, A10, A16, A19, A20, A24, A25, A30, B1, B3, B10, B11, B13, B14, B16, B20, B21, B22, B26, B27	A4, A7, A8, A15, A17, A22, A26, A28, A31, A33, A34, B4, B5, B8, B12, B17, B18, B25, B29	A13, A23, A29, B9, B15
12. Eu penso que praticamente qualquer assunto pode ser muito interessante, desde que eu tenha acesso a ele.	A1, A3, A4, A8, A12, A14, A15, A17, A18, A20, A21, A22, A24, A25, A30, A31, A32, A33, A34, B1, B4, B3, B5, B7, B9, B10, B11, B13, B14, B16, B17, B23, B27, B28, B29	A9, A13, A16, A19, A23, A26, A27, A28, A29, B8, B20, B21, B22, B25	A2, A5, A7, A10, B12, B15, B18, B26	
13. Muitas vezes eu me questiono sobre coisas que eu ouvi os professores dizerem nas aulas ou que li nos livros.	A2, A4, A12, A15, A22, A27, A28, A30, A31, A33, B1, B13, B15, B22, B23, B28	A1, A3, A7, A17, A20, A21, A26, A34, B4, B7, B10, B11, B20, B21, B25, B26	A5, A9, A10, A13, A14, A16, A18, A19, A23, A25, A29, A32, B3, B5, B8, B12, B14, B27, B29	A8, A24, B9, B16, B17, B18
14. Eu acho útil obter uma visão geral de um novo tópico, vendo como as ideias se encaixam.	A1, A2, A3, A4, A9, A10, A12, A17, A22, A26, A30, A33, A34, B1, B10, B15, B16, B21, B22,	A5, A7, A8, A14, A15, A18, A19, A20, A21, A23, A25, A27, A28, A32, B4, B3, B5, B7, B8, B12,	A16, A24, A29, B9, B17, B20	A13, A31, B11, B18

	B25, B27, B28, B29	B13, B14, B23, B26		
15. Depois de uma palestra ou atividade de laboratório, eu releio as minhas anotações para me certificar de que realmente as entendi.	B15, B28	A9, A12, A15, A16, A19, A20, A26, A28, A30, B7, B10, B12, B18, B23	A1, A2, A3, A4, A7, A10, A14, A17, A18, A21, A25, A27, A29, A31, A34, B1, B8, B13, B14, B16, B17, B20, B21, B22, B26, B27, B29	A5, A8, A13, A22, A23, A24, A32, A33, B4, B3, B5, B9, B11, B25
17. Eu me empenho para entender completamente o significado do que me pedem para ler.	A1, A2, A3, A9, A10, A17, A19, A21, A25, A26, A31, B1, B10, B14, B15, B17, B20, B22, B23, B28	A12, A13, A14, A15, A16, A18, A20, A23, A24, A27, A28, A30, A32, A33, A34, B4, B3, B7, B12, B13, B21, B25, B27, B29	A4, A5, A7, A8, A22, B8, B16, B18, B26	A29, B5, B9, B11
19. Eu tento relacionar o que eu aprendi com outros assuntos.	A3, A4, A19, A20, A24, A33, B1, B16, B28	A1, A2, A5, A7, A8, A9, A12, A13, A15, A17, A18, A26, A28, A29, A30, A31, A34, B3, B4, B7, B10, B14, B15, B21, B23, B27	A10, A14, A16, A21, A22, A23, A25, A27, B5, B8, B9, B12, B13, B18, B20, B25, B26, B29	A32, B11, B17, B22
21. Quebra-cabeças e problemas me fascinam, especialmente quando tenho que me esforçar para chegar a uma conclusão lógica.	A3, A5, A9, A14, A17, A18, A21, A24, A26, A29, A31, B9, B10, B20, B25	A1, A4, A12, A13, A15, A25, A27, A28, A34, B1, B7, B8, B11, B12, B14, B15, B21, B27	A2, A7, A16, A20, A22, A23, A30, A33, B3, B4, B13, B16, B18, B22, B23, B26, B28	A8, A10, A19, A32, B5, B17, B29

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Comparando a média dos alunos de ambas as turmas, item por item do STAM, observou-se diferença estatística entre as turmas somente no item 16 “Eu só estudo seriamente o conteúdo dado em sala de aula” (TA: 2.47 ± 0.19 vs TB: 3.00 ± 0.16 , $p = 0.04$) e no item 25 “Eu olho apenas para as leituras sugeridas em palestras ou laboratórios, já que leituras adicionais sobre um determinado tema podem ser confusas” (TA: 1.81 ± 0.12 vs TB: 2.48 ± 0.16 , $p = 0.001$).

O gráfico 2 a seguir mostra com detalhes esta questão.

Gráfico 2 – Pontuação média dos alunos, de ambas as turmas, em cada item do STAM

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

No quadro a seguir, são apresentadas, detalhadamente, as respostas de cada aluno, de ambas as turmas, para cada item do STAM.

Quadro 6 – Resposta de cada aluno, de ambas as turmas, para cada item do STAM.

Item do STAM	Respostas			
	Sempre 4	Quase sempre 3	Raramente 2	Nunca 1
8. Eu tenho a tendência de lembrar melhor dos conteúdos se eu me concentrar na ordem em que foram apresentados pelo professor.	A4, A5, A7, A12, A13, A15, A16, A17, A19, A21, A24, A29, A31, A32, B3, B8, B10, B15, B26, B27, B28, B29	A2, A3, A8, A14, A20, A22, A27, A28, A30, B9, B13, B14, B20, B21, B23	A1, A9, A10, A18, A23, A26, A33, A34, B1, B7, B11, B16, B17, B22	A25, B4, B5, B12, B18, B25
9. Eu tenho que me concentrar na memorização de boa parte do que tenho que aprender.	A2, A5, A7, A9, A10, A19, A21, A26, A32, B3, B12, B13, B14, B17, B23, B27, B28	A4, A8, A12, A14, A15, A16, A17, A18, A20, A22, A24, A25, A28, A31, A33, A34, B1, B4, B5, B8, B10, B11, B16, B20, B22, B25, B26, B29	A1, A3, A13, A27, A29, A30, B7, B9, B15, B18, B21	A23
11. Os professores não devem esperar que seus alunos gastem uma quantidade significativa de tempo estudando um	A5, A14, A16, A17, A18, A25, B12, B15, B18, B20, B22, B25, B28	A7, A8, A26, A27, A34, B1, B8, B16	A1, A12, A13, A15, A19, A23, A24, A28, B3, B10, B13, B14, B21, B23, B26	A2, A3, A4, A9, A10, A20, A21, A22, A29, A30, A31, A32, A33, B4, B5, B7, B9, B17, B27, B29

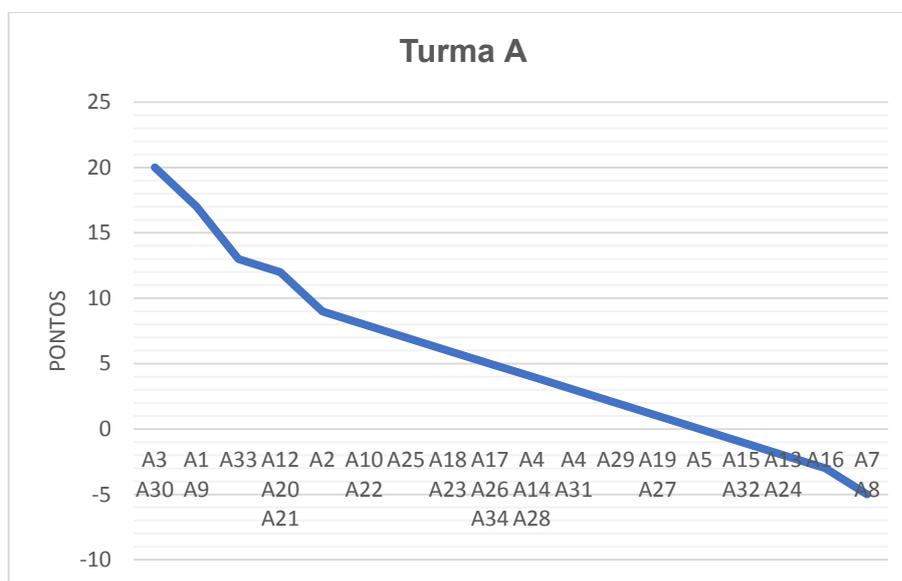
conteúdo que todo mundo sabe que não será cobrado em avaliação.				
16. Eu só estudo seriamente o conteúdo dado em sala de aula.	A8, A13, A14, A17, A19, A24, A32, B5, B9, B12, B13, B15, B26, B28, B29	A4, A7, A10, A12, A18, A20, A26, A31, A34, B4, B8, B10, B14, B16, B17, B20, B23, B27	A2, A15, A21, A22, A23, A28, A30, A33, B1, B3, B7, B11, B18, B21, B22, B25	A1, A3, A5, A9, A16, A25, A27, A29
18. Tenho tendência a gostar de assuntos com um 'monte' de conteúdo prático, em vez de assuntos teóricos.	A2, A3, A9, A10, A14, A15, A16, A20, A21, A22, A23, A24, A26, A27, A28, A31, A34, B3, B4, B5, B7, B10, B12, B13, B14, B16, B17, B18, B20, B21, B22, B23, B27, B28	A4, A5, A8, A17, A18, A19, A29, A32, A33, B1, B9, B15	A1, A7, A12, A13, A25, A30, B8, B11, B26	B25, B29
20. A melhor maneira para eu entender o significado dos termos técnicos é lembrar a definição do livro didático.	A4, A22, A29, B10	A3, A7, A12, A19, A24, B7, B12, B14, B15, B21, B23	A1, A2, A5, A8, A9, A10, A13, A15, A16, A17, A18, A20, A25, A26, A27, A28, A30, A31, A33, A34, B4, B8, B11, B13, B16, B17, B22, B26, B27, B28, B29	A14, A21, A23, A32, B1, B3, B5, B9, B18, B20, B25
22. Eu não costumo pensar sobre as implicações daquilo que eu tenho que ler.	A25, A28	A4, A7, A8, A32, A33, B4, B5, B10, B12, B21, B27, B29	A5, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A19, A20, A21, A22, A24, A26, A27, A29, A34, B1, B3, B7, B8, B14, B15, B16, B17, B20, B23, B25, B26	A1, A2, A3, A9, A10, A23, A30, A31, B9, B11, B13, B18, B22, B28
23. Eu aprendo as coisas de forma mecânica ou "decorando".	A4, A15, A32, B12, B23, B29	A7, A8, A9, A16, A17, A18, A19, A24, A25, A27, A29, A31, B9, B10, B11, B14, B25, B26, B28	A1, A2, A3, A5, A10, A12, A14, A23, A26, A28, A33, A34, B1, B3, B4, B7, B8, B13, B17, B20, B21, B27	A13, A20, A21, A22, A30, B5, B15, B16, B18, B22
24. Muitas vezes, eu leio assuntos científicos sem realmente entender o significado, então eu apenas os memorizo.	A4, A13, A15, A16, A31, B9, B10, B12, B28	A5, A7, A8, A19, A26, A27, A28, A34, B4, B3, B5, B8, B29, B20, B23	A1, A2, A12, A14, A17, A18, A22, A23, A24, A25, A29, B1, B7, B13, B14, B15, B16, B17, B18, B21, B26, B27	A3, A9, A10, A20, A21, A30, A32, A33, B11, B22, B25
25. Eu olho apenas para as leituras sugeridas em palestras ou	B9, B28	A7, A15, A16, A24, A34, B7, B8, B10, B11, B15, B16, B17,	A5, A8, A12, A13, A17, A18, A19, A20, A21, A23, A25, A26,	A1, A2, A3, A4, A9, A10, A14, A22, A29, A30, A33, B3, B5, B22

laboratórios, já que leituras adicionais sobre um determinado tema podem ser confusas.		B29, B21, B23, B25	A27, A28, A31, A32, B1, B4, B12, B13, B14, B18, B20, B26, B27	
26. Eu geralmente restrinjo o meu estudo para as informações que são repassadas pelo professor, pois acredito que é desnecessário qualquer esforço adicional.	A13, A15, A31	A18, A24, B7, B8, B10, B14, B15, B16, B20, B26, B29	A5, A7, A8, A16, A17, A19, A26, A34, B11, B12, B13, B17, B18, B21, B25, B27	A1, A2, A3, A4, A9, A10, A12, A14, A20, A21, A22, A23, A25, A27, A28, A29, A30, A32, A33, B1, B4, B3, B5, B9, B22, B23, B28

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Também foi realizado um cálculo da diferença entre os resultados dos subtestes (STAS - STAM) para cada aluno desta pesquisa. Este cálculo contribui para analisar a tendência de cada aluno para um determinado estilo de aprendizagem. Estes resultados estão representados no gráfico 3.

Gráfico 3 – Diferença entre os resultados dos STAS e STAM para cada aluno da turma A.

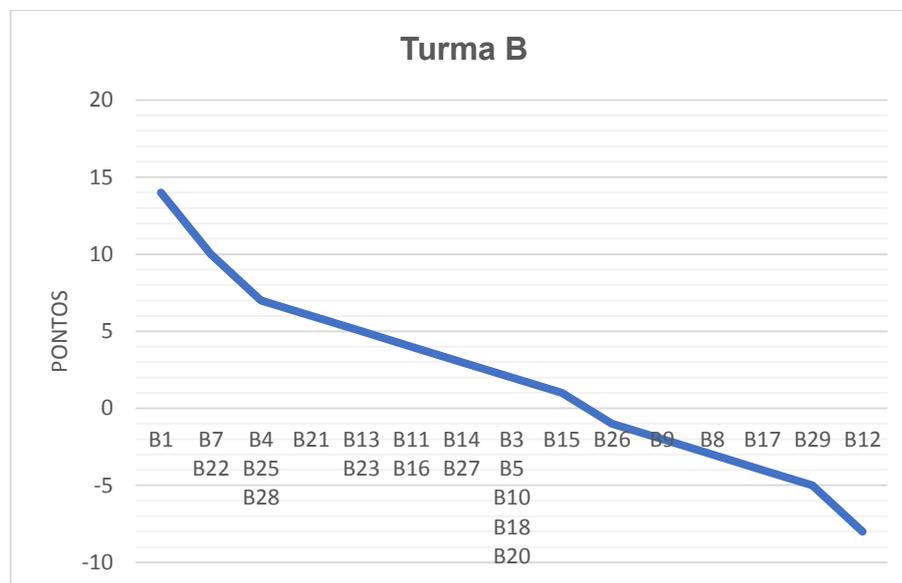


Fonte: Dados da pesquisa (2018)

De forma geral, o gráfico 3 mostra que os alunos A7, A8, A13, A15, A16, A24, A32 apresentaram claramente uma tendência ao aprendizado mecânico. O restante dos alunos desta turma apresentou maior tendência ao aprendizado significativo, exceto o aluno A5 cujos resultados não mostraram uma tendência particular. Observou-se, também, que os alunos A3 e A30 apresentaram a maior tendência a

aprendizagem significativa, enquanto que os alunos A7 e A8 foram aqueles que tiveram a maior tendência à aprendizagem mecânica.

Gráfico 4 – Diferença entre os resultados dos STAS e STAM para cada aluno da turma B



Fonte: Dados da pesquisa (2018)

De forma geral, o gráfico 4 mostra que os alunos B8, B9, B12, B17, B26 e B29 apresentaram, claramente, uma tendência ao aprendizado mecânico. O restante dos alunos desta turma apresentou maior tendência ao aprendizado significativo. O gráfico também mostra que o aluno B1 apresentou a maior tendência à aprendizagem significativa, enquanto que o aluno B12 a maior tendência à aprendizagem mecânica.

6.4 AVALIAÇÃO DA MOTIVAÇÃO PARA A APRENDIZAGEM

Para avaliar a motivação dos alunos para a aprendizagem, aplicou-se a Escala de Avaliação da Motivação para Aprendizagem (EMAPRE) (Anexo C), imediatamente após o Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem.

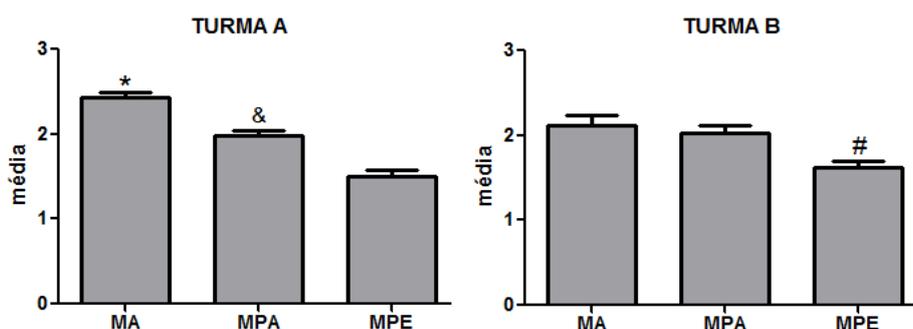
Os resultados mostraram que os alunos da turma A apresentaram forte motivação intrínseca para a aprendizagem. Esta turma apresentou valores da meta aprender (MA) significativamente maiores que os da meta performance-aproximação (MPA) e performance-evitação (MPE). Além disso, seus valores da MPA foram estatisticamente maiores que o da MPE ($F_{(2,84)} = 42.06, p < 0.0001$).

Quanto aos resultados da turma B, não foram observadas diferenças estatísticas entre os valores da MA e os da MPA. Em contrapartida, tanto os valores de a MA quanto os da MPA foram significativamente maiores que os valores da MPE ($F_{(2,78)} = 6.98, p = 0.001$).

Devido ao fato de cada meta do EMAPRE apresentar itens em número desigual, ou seja, MA = 12 itens, MPA = 9 itens, MPE = 7 itens, para estabelecer as comparações descritas, usou-se como dado o valor médio obtido por cada aluno em todos os itens de cada subtteste. Assim, por exemplo, se o aluno obteve a soma de 32 pontos nos 12 itens da MA, então a sua média (32/12) é 2.66.

O gráfico 5, a seguir, mostra estes resultados.

Gráfico 5 – Pontuação média de ambas as turmas nos subttestes do EMAPRE.



Nota:

Os dados estão expressos como média \pm D.P.M. O símbolo (*) acima da barra indica as diferenças estatísticas entre MA e as demais metas na turma A; & indica diferenças estatísticas entre a MA e a MPA na turma A. O símbolo (#) corresponde às diferenças estatísticas entre a MPE e as demais na turma B (ANOVA de uma via com Turkey's post test, $p < 0,05, n = 29-27$ alunos/grupo).

Fonte: dados da pesquisa (2018)

Comparando os resultados obtidos por ambas as turmas, na MA, a turma A apresentou significativamente maiores resultados que a turma B ($p = 0.02$). As turmas não tiveram diferenças estatísticas entre os resultados da MPA ($p = 0.76$) e MPE ($p = 0.32$).

A tabela 4 mostra com detalhes estes resultados.

Tabela 4 – Comparação entre os resultados obtidos pelos alunos da turma A e B nos subtestes do EMAPRE.

PARÂMETRO	TURMA A	TURMA B
Meta aprender	29.00±3.99*	25.44±7.07
Meta performance-aproximação	17.86±3.00	18.19±4.84
Meta performance-evitação	10.48±3.30	11.33±2.98

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

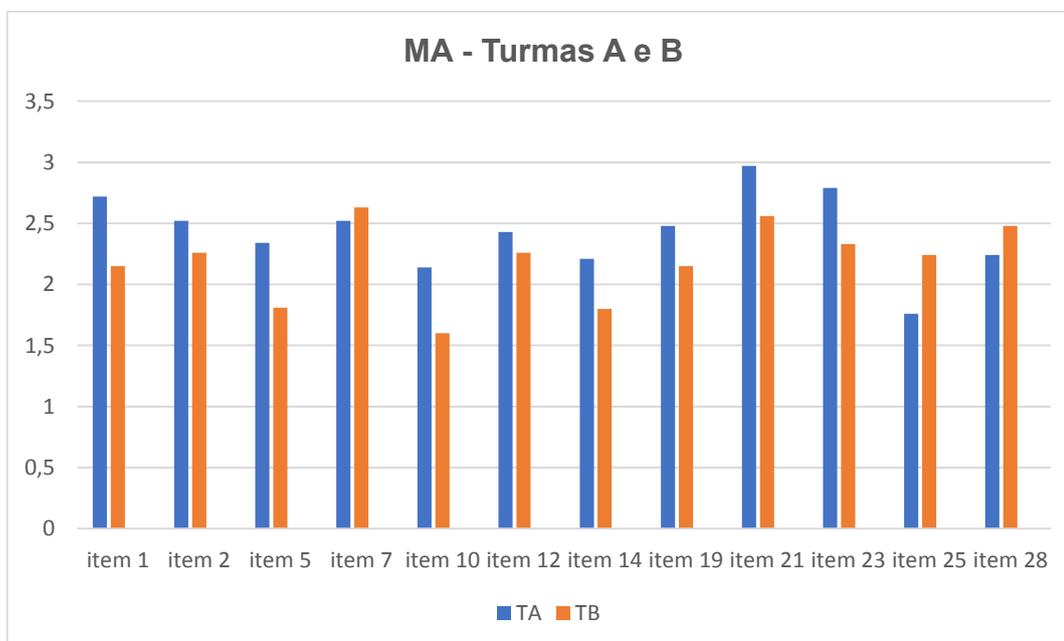
Nota:

Os dados estão expressos como média ± D.P.M. O símbolo (*) acima dos números indica as diferenças estatísticas ($p < 0,05$, t test two-tailed, $n = 29-27$ alunos/grupo) entre as médias obtidas na turma A e B na meta aprender.

Analisando item por item do EMAPRE, os resultados mostram diferenças estatísticas entre as turmas nos itens 1 (TA: 2.72 ± 0.65 vs TB: $2.15 \pm 0,97$, $p = 0.01$), 5 (TA: 2.34 ± 0.81 vs TB: 1.81 ± 0.89 , $p = 0.02$), 10 (TA: 2.14 ± 0.89 vs TB: 1.60 ± 0.79 , $p = 0.01$), 21 (TA: 2.97 ± 0.18 vs TB: 2.56 ± 0.80 , $p = 0.001$) e 23 (TA: 2.79 ± 0.49 vs TB: 2.33 ± 0.83 , $p = 0.01$) da MA. Também se observou forte tendência na diferença estatística para o item 14 (TA: 2.21 ± 0.77 vs TB: 1.80 ± 0.96 , $p = 0.06$) da MA.

Estes resultados são apresentados no gráfico 6.

Gráfico 6 – Pontuação média dos alunos, de ambas as turmas, em cada item da MA do EMAPRE



Fonte: Dados da pesquisa (2018)

No quadro 7, é apresentada, detalhadamente, a resposta de cada aluno para cada item da MA do EMAPRE.

Quadro 7 – Resposta de cada aluno, de ambas as turmas, para cada item do subtteste MA do EMAPRE.

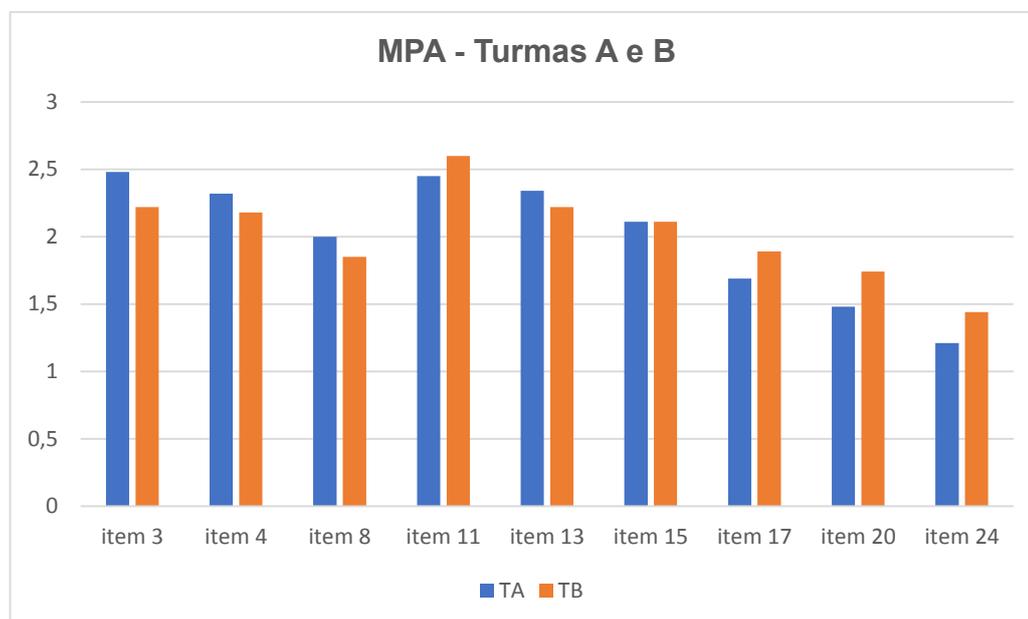
Item do STAM	Respostas		
	Concordo	Não sei	Discordo
1. Quando vou mal numa prova, estudo mais para a próxima.	A1, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A17, A18, A20, A22, A23, A25, A26, A28, A29, A32, A30, B1, B2, B3, B5, B7, B10, B14, B16, B21, B23, B25, B26, B27, B28	A24, A33, B11, B15	A15, A16, A31, B4, B6, B8, B9, B12, B13, B18, B20, B22, B29
2. Eu não desisto facilmente diante de uma tarefa difícil.	A1, A3, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A14, A22, A24, A23, A25, A26, A29, A30, A31, A32, A33, B2, B4, B7, B8, B10, B12, B14, B18, B20, B21, B22, B23, B24, B25, B26, B28	A4, A12, A15, A16, A20 A28, B3, B27	A11, A13, A17, A18, B1, B5, B6, B9, B11, B13, B15, B16, B29
5. Faço minhas tarefas escolares porque estou interessado nelas.	A1, A4, A5, A6, A7, A9, A14, A17, A18, A22, A25, A28, A29, A30, A31, A32, B2, B7, B10, B14, B21, B24, B25, B28	A3, A11, A12, A15, A16, A20, A24, B3, B5, B8, B27, B29	A8, A10, A13, A23, A26, A33, B1, B4, B6, B9, B11, B12, B13, B15, B16, B20, B22, B23, B26
7. Gosto de trabalhos escolares com os quais aprendo algo, mesmo que cometa uma porção de erros.	A1, A4, A5, A7, A8, A9, A11, A12, A14, A15, A16, A17, A20, A22, A24, A26, A28, A30, A31, A33, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11, B14, B15, B16, B18, B21, B22, B23, B25, B27, B28, B29	A3, A6, A25, A29	A10, A13, A18, A23, A32, B12, B13, B20, B24, B26
10. Uma razão pela qual eu faço minhas tarefas escolares é que eu gosto delas.	A1, A4, A5, A6, A9 A20, A22, A24, A25, A28, A29, A30, A31, A32, B7, B14, B24, B25, B28	A7, A12, A13, A15, A18, A33, B2, B3, B8, B10, B21, B27	A3, A8, A10, A11, A16, A17, A23, A26, A32, B1, B4, B5, B6, B9, B11, B12, B13, B15, B16, B18, B20, B22, B23, B26, B29
12. Uma razão importante pela qual faço as tarefas escolares é porque eu gosto de aprender coisas novas.	A1, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A14, A17, A20, A22, A25, A29, A30, A31, B2, B4, B5, B7, B8 B9, B10, B14, B15, B16, B21, B23, B25, B27, B28	A11, A12, A13, A15, A16, A18, A23, A24, A28, A32, A33, B3, B11, B24, B29	A10, A26, B1, B6, B12 B13, B18, B20, B22 B26

14. Quanto mais difícil a matéria, mais eu gosto de tentar compreender.	A1, A5, A9, A10, A12, A15, A20, A22, A23, A24, A29, A30, B2, B3, B8, B9, B10, B14, B21, B25, B27	A3, A4, A7, A11, A13, A14, A16, A18, A25, A28, A32, B4, B28	A6, A8, A17, A26, A31, A33, B1, B5, B6, B12, B13, B15, B16, B18, B20, B22, B23, B24, B26, B29
19. Eu gosto mais das tarefas quando elas me fazem pensar.	A1, A3, A4, A5, A6, A7, A9, A10, A14, A18, A20, A22, A23, A29, A30, A31, A33, B2, B4, B5, B7, B8, B12, B14, B16, B21, B22, B23, B25, B27, B28	A11, A12, A13, A15, A16, A17, A25, A28, A32, B3, B10, B15	A8, A24, A26, B1, B6, B9, B11, B13, B18, B20, B24, B26, B29
21. Gosto quando uma matéria me faz sentir vontade de aprender mais.	A1, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A20, A22, A23, A25, A26, A28, A29, A30, A31, A32, A33, B2, B3, B4, B7, B8, B10, B11, B12, B14, B15, B16, B18, B20, B21, B22, B23, B24, B25, B27, B28	A24, B1, B9	B5, B6, B13, B26, B29
23. Uma importante razão pela qual eu estudo para valer é porque eu quero aumentar meus conhecimentos.	A1, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A17, A18, A20, A22, A23, A25, A28, A29, A30, A31, A32, A33, B1, B2, B4, B7, B8, B9, B10, B11, B14, B16, B21, B22, B23, B24, B28	A3, A15, A16, A24, B3, B5, B15, B25, B27, B29	A26, B6, B12, B13, B18, B20, B26
25. Gosto de tarefas difíceis e desafiadoras.	A5, A9, A14, A31, B2, B3, B4, B8, B10, B14, B21, B22	A1, A3, A12, A11, A13, A15, A18, A22, A23, A25, A28, A29, A30, A33, B5, B7, B27, B28, B29	A4, A6, A7, A8, A10, A26, A7, A32, A17, A16, A24, A20, B1, B6, B9, B12, B13, B15, B18, B20, B23, B24, B25, B26
28. Sou perseverante, mesmo quando uma tarefa me frustra.	A3, A5, A6, A7, A9, A13, A14, A20, A26, A31, B1, B2, B4, B5, B7, B8, B10, B12, B14, B18, B21, B22, B23, B24, B25, B26, B28	A1, A4, A10, A11, A12, A15, A17, A18, A22, A24, A25, A28, A29, A30, A32, A33, B3, B9, B11, B15, B27, B29	A8, A16, A23, B6, B13, B16, B20

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Os resultados de ambas as turmas em cada item do subtteste MPA são apresentados no gráfico 7. Neste gráfico, pode-se observar que não foram observadas diferenças estatísticas entre as turmas em nenhum item deste subtteste ($p > 0.05$).

Gráfico 7 – Pontuação média dos alunos, de ambas as turmas, em cada item da MPA do EMAPRE.



Fonte: Dados da pesquisa (2018)

A resposta de cada aluno para cada item da MPA é apresentada no quadro a seguir.

Quadro 8 – Resposta de cada aluno, de ambas as turmas, para cada item do subtteste MPA do EMAPRE.

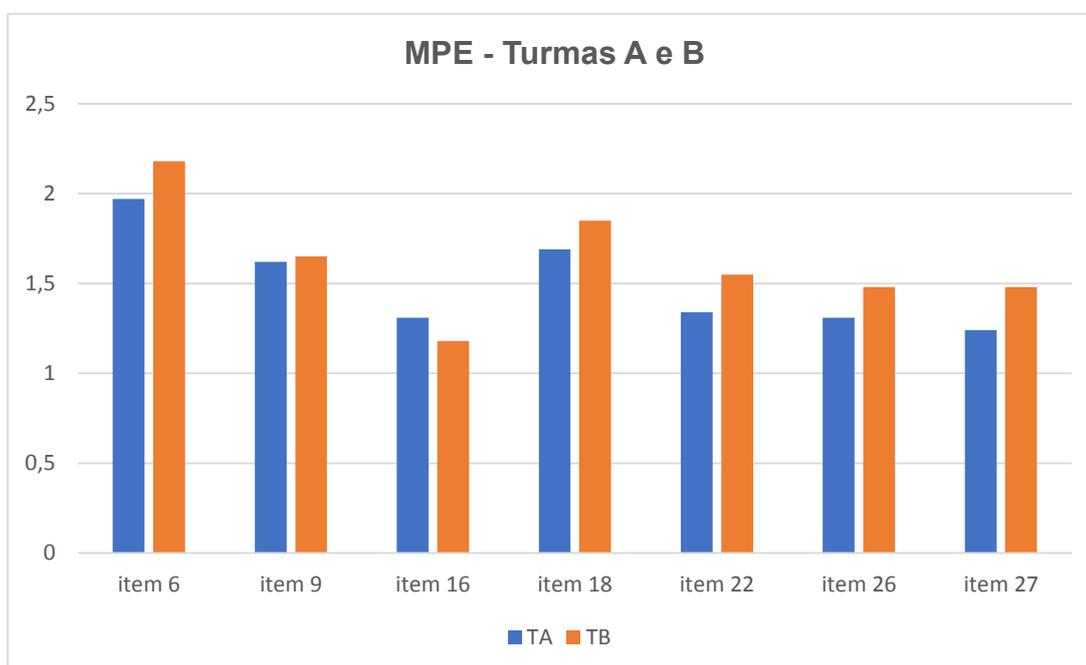
Item do MPA	Respostas obtidas por cada participante		
	Concordo (3 pontos)	Não sei (2 pontos)	Discordo (1 ponto)
3. Para mim, é importante fazer as coisas melhor que os demais.	A1, A4, A5, A6, A9, A10, A12, A14, A20, A22, A23, A24, A25, A26, A28, A29, A30, A33, B1, B2, B3, B4, B8, B9, B10, B12, B15, B21, B24, B26, B27, B28, B29	A3, A7, A8, A11, A15, A31, A32, B6, B7, B14	A13, A16, A17, A18, B5, B11, B13, B16, B18, B20, B22, B23, B25
4. É importante para mim, fazer as tarefas melhor que os meus colegas.	A1, A3, A5, A6, A9, A10, A12, A20, A23, A26, A28, A29, A33, B2, B3, B8, B9, B12, B21, B24, B25, B26, B27, B28, B29	A4, A7, A13, A14, A15, A22, A24, A25, A30, A31, A32, B1, B4, B6, B7, B11, B14, B15, B16	A8, A11, A17, A18, B5, B10, B13, B18, B20, B22, B23
8. Na minha turma, eu quero me sair	A1, A5, A10, A20, A23, A25, A28, A33, B3, B8,	A3, A4, A6, A7, A12,	A8, A9, A11, A13, A17, A18, A26, A32, B1, B2, B5, B11, B12, B13,

melhor que os demais.	B9, B10, B21, B24, B27, B28	A14, A15, A16, A22, A24, A30, A31, B4, B6, B7, B14, B16, B25, B29	B15, B18, B20, B22, B23, B26
11. Sinto-me bem-sucedido na aula quando sei que o meu trabalho foi melhor que dos meus colegas.	A1, A3, A5, A7, A12, A13, A14, A15, A16, A20, A22, A23, A24, A25, A26, A28, A30, A32, A33, B1, B2, B3, B4, B6, B9, B14, B15, B16, B18, B20, B21, B22, B23, B24, B25, B26, B27, B28, B29	A4, A11, A18, A29, B5, B7, B8	A6, A8, A9, A10, A17, A31, B10, B11, B12, B13
13. Gosto de mostrar aos meus colegas que sei as respostas.	A3, A4, A11, A14, A15, A16, A17, A18, A20, A24, A23, A25, A29, A30, A31, A33, B1, B3, B4, B7, B8, B9, B10, B15, B18, B20, B21, B24, B27, B28	A1, A5, A7, A8, A10, A12, A28, B5, B6, B14, B25, B29	A6, A9, A13, A22, A26, A32, B2, B11, B12, B13, B16, B22, B26, B23
15. Para mim, é importante conseguir concluir tarefas que meus colegas não conseguem.	A3, A5, A6, A16, A17, A18, A20, A23, A25, A32, A33, B1, B3, B4, B7, B10, B21, B22, B25, B27, B28, B29	A10, A11, A12, A15, A22, A24, A29, A30, A31, B2, B5, B6, B8, B15, B16, B24	A1, A4, A7, A8, A9, A13, A14, A26, B9, B12, B13, B14, B18, B20, B23, B26
17. Sucesso na escola é fazer as coisas melhor que os outros.	A26, A32, A17, A20, A13, A6, B3, B4, B9, B11, B16, B23, B24, B27, B28	A8, A11, A12, A15, A28, A29, A30, A31, B5, B8, B14, B21, B25, B29	A1, A3, A4, A5, A7, A9, A10, A14, A16, A18, A22, A24, A23, A25, A33, B1, B2, B6, B7, B10, B12, B13, B15, B18, B20, B22, B26
20. Gosto de participar de trabalhos em grupo sempre que eu possa ser o líder.	A3, A13, A20, A23, B3, B4, B18, B21, B22, B24, B27, B28	A28, A29, A22, A11, A33, A15, B14, B8, B5, B29	A1, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A12, A14, A16, A17, A18, A24, A25, A26, A30, A31, A32, B1, B2, B6, B7, B9, B10, B11, B12, B13, B15, B16, B20, B23, B25, B26
24. Ser o primeiro da classe é o que me leva a estudar.	A25, B5, B21, B24	A3, A11, A14, A15, B4, B8, B10, B23, B28, B29	A1, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A12, A13, A16, A17, A18, A20, A22, A23, A24, A26, A28, A29, A30, A31, A32, A33, B1, B2, B3, B6, B7, B9, B11, B12, B13, B14, B15, B16, B18, B20, B22, B25, B26, B27

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Os resultados dos alunos, de ambas as turmas, em cada item do subtteste MPE são apresentados no gráfico 8. Neste gráfico, pode-se observar que não foram observadas diferenças estatísticas entre as turmas em nenhum dos itens do subtteste ($p > 0.05$).

Gráfico 8 – Pontuação média dos alunos, de ambas as turmas, em cada item da MPE do EMAPRE.



Fonte: Dados da pesquisa (2018).

A resposta de cada aluno para cada item do subtteste da MPE é apresentada no quadro a seguir.

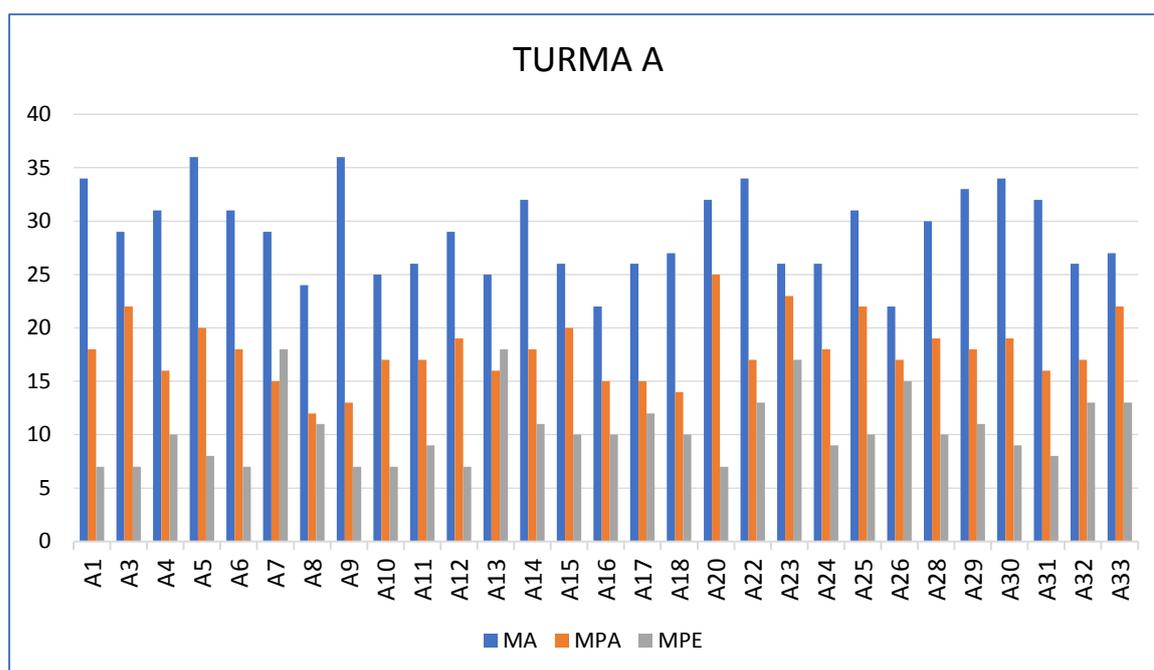
Quadro 9 – Resposta de cada aluno, de ambas as turmas, para cada item do subtteste MPE do EMAPRE.

Item do MPE	Respostas		
	Concordo	Não sei	Discordo
6. Não respondo aos questionamentos feitos pelo professor, por medo de falar alguma “besteira”.	A7, A13, A14, A15, A22, A23, A24, A25, A29, A32, A33, B1, B3, B6, B12, B14, B15, B16, B18, B20, B21, B23, B25, B26, B27, B28.	A4, A5, A16, A17, A28, A31, B2, B8.	A1, A3, A6, A8, A9, A10, A11, A12, A18, A20, A26, A30, B4, B5, B7, B9, B10, B11, B13, B22, B24, B29.
9. Não participo dos debates em sala de aula, porque não quero que os colegas riam de mim.	A4, A7, A13, A17, A22, A23, A29, A32, B3, B11, B12, B15, B16, B26, B27.	A11, A18, B8, B21, B25.	A1, A3, A5, A6, A8, A9, A10, A12, A14, A15, A16, A20, A24, A25, A26, A28, A30, A31, A33, B1, B2, B4, B5, B6, B7, B9, B10, B13, B14, B18, B20, B22, B23, B24, B28.
16. Não me posiciono nas discussões em sala de aula, pois não quero que os professores achem que sei menos que os meus colegas.	A13, A26, B24	A7, A15, A16, A23, A32, B7, B21, B25.	A1, A3, A4, A5, A6, A8, A9, A10, A11, A12, A14, A17, A18, A20, A22, A24, A25, A28, A29, A30, A31, A33, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B8, B9, B10, B11, B12,

			B13, B14, B15, B16, B18, B20, B22, B23, B26, B27, B28, B29.
18. Não participo das aulas quando tenho dúvidas no conteúdo que está sendo trabalhado.	A7, A8, A14, A17, A18, A23, A26, A28, A30, B5, B8, B11, B15, B21, B24, B25, B26, B29.	A22, A25, B3, B4, B23, B27, B28.	A1, A3, A4, A5, A6, A9, A10, A11, A12, A13, A15, A16, A20, A24, A29, A31, A32, A33, B1, B2, B6, B7, B9, B10, B12, B13, B14, B16, B18, B20, B22.
22. Uma razão pela qual eu não participo da aula é evitar parecer ignorante.	A8, A23, A33, B15, B20, B21, B28, B29.	A7, A11, A13, A32, B4, B6, B8, B12, B25.	A1, A3, A4, A5, A6, A9, A10, A12, A14, A15, A16, A17, A18, A20, A22, A24, A25, A26, A28, A29, A30, A31, B1, B2, B3, B5, B7, B9, B10, B11, B13, B14, B16, B18, B22, B23, B24, B26, B27.
26. Não questiono o professor quando tenho dúvidas na matéria para não dar a impressão de que sou menos inteligente que os meus colegas.	A7, A13, A26, A33, B4, B15, B23, B24.	A16, B8, B10, B21, B25, B26.	A1, A3, A4, A5, A6, A8, A9, A10, A11, A12, A14, A15, A17, A18, A20, A22, A23, A24, A25, A28, A29, A30, A31, A32, B1, B2, B3, B5, B6, B7, B9, B11, B12, B13, B14, B16, B18, B20, B22, B27, B28, B29.
27. Não participo das aulas para evitar que meus colegas e professores me achem pouco inteligente.	A13, A15, A26, B9, B15, B18, B24.	A7, A22, A23, B5, B8, B14, B21, B25.	A1, A3, A4, A5, A6, A8, A9, A10, A11, A12, A14, A15, A16, A17, A18, A20, A24, A25, A28, A29, A30, A31, A32, A33, B1, B2, B3, B4, B6, B7, B10, B11, B12, B13, B16, B20, B22, B23, B26, B27, B28, B29.

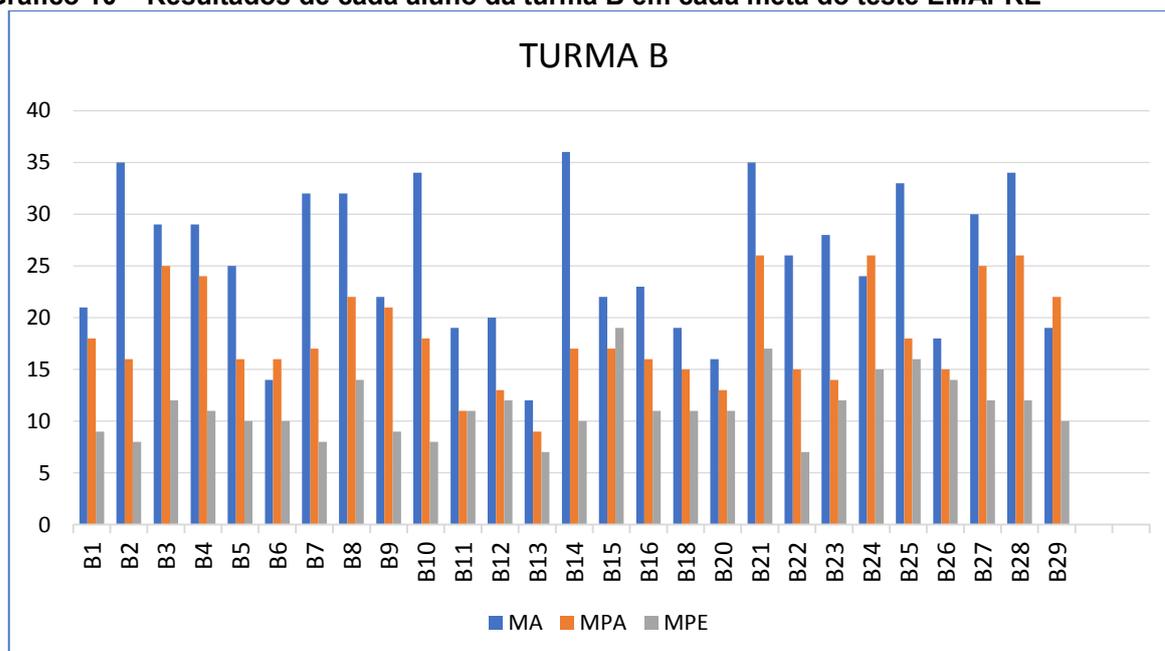
Fonte: Dados da pesquisa (2018)

O gráfico 9 permite observar os resultados de cada aluno da turma A em cada meta do teste EMAPRE. Nota-se que os alunos A5 e A9 foram aqueles com maiores resultados para a MA; os alunos A20 e A23, para MPA, e os alunos A7, A13, A23 para meta performance-avoidance.

Gráfico 9 – Resultados de cada aluno da turma A em cada meta do teste EMAPRE

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

O gráfico 10 apresentado na sequência permite observar os resultados de cada aluno da turma B em cada meta do teste EMAPRE. Nota-se que os alunos B14, B2 e B21 apresentaram altos escores para a MA; os alunos B21, B24 e B28, para MPA e os alunos B15, B21, B25 para meta performance-evitação.

Gráfico 10 – Resultados de cada aluno da turma B em cada meta do teste EMAPRE

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Os dados obtidos até este momento são suficientes para responder ao segundo objetivo específico desta tese: “Avaliar o interesse por conteúdos biológicos, motivação e estilo de aprendizagem dos alunos. De forma geral, comparados com os alunos da turma B, os alunos da turma A apresentaram maior inclinação à aprendizagem significativa associada a uma forte motivação intrínseca para o aprendizado, com evidente inclinação para a meta aprender.

Os alunos da turma A também mostraram maior interesse pelos assuntos biológicos científicos. Contudo, é importante lembrar que a maioria dos alunos, de ambas as turmas, não costuma estudar Biologia em casa ou fora do ambiente de sala de aula.

6.5 APLICAÇÃO DO PROGRAMA NEUROCIENTÍFICO DE ENSINO

A turma B foi escolhida pelo professor e pesquisador para a aplicação do Programa Neurocientífico de Ensino. A decisão baseou-se em vários fatores, entre eles, pôde-se elencar o menor nível de conhecimentos fundamentais de genética, menor nível de interesse e motivação para aprendizagem, menor tendência à aprendizagem significativa e pouco interesse por conteúdos biológicos científicos, avaliados pelos testes no período imediatamente anterior à intervenção.

Além disso, foram levados em consideração os dados referentes às notas e à frequência dos alunos nos bimestres anteriores, bem como as informações obtidas com os professores de outras disciplinas em conversas informais, durante a hora-atividade. Segundo os demais professores, a turma escolhida para a intervenção apresentava um número considerável de alunos com pouco interesse pela aprendizagem, com desempenho inferior ao esperado e com alguns alunos considerados “indisciplinados”, que segundo eles, interferem significativamente no andamento da aula.

Então, nesta tese, a partir deste momento, a turma B será considerada GRUPO INTERVENÇÃO (GI) e a turma A GRUPO CONTROLE (GC).

O pesquisador esteve presente em sala de aula durante toda a pesquisa, tanto no GC quanto no GI. No GI, o pesquisador realizou diversas intervenções junto aos alunos e professor. No GC, que recebeu somente aulas expositivas tradicionais no quadro negro, o pesquisador participou somente como um observador.

O PROGRAMA NEUROCIENTÍFICO DE ENSINO considerou os conhecimentos prévios dos alunos e os seguintes pontos: atenção, percepção (visual, auditiva e tátil), memória (operacional e de longo prazo), funções executivas, interação social, motivação e emoções, que como já mencionado, estão intimamente vinculados à aprendizagem.

Em geral, no GI, foram utilizados recursos de ensino fundamentados na *Brain-Based Learning* (Aprendizagem Baseada no Cérebro) que engloba uma mistura eclética de técnicas baseadas no funcionamento do cérebro para melhorar o aprendizado (RAMOS, 2014). Assim, buscou-se apresentar o conteúdo de genética por diferentes acessos sensoriais, utilizando-se de recursos como figuras, textos, imagens, sons, vídeos, maquetes, entre outros.

Em todos os momentos do processo de intervenção, um grande esforço foi empregado para tornar o conteúdo de genética o mais concreto possível. Sabia-se, desde o princípio, que os conceitos que seriam abordados (DNA, genes, cromossomos e o ciclo celular) são elementos microscópicos de difícil visualização. Contudo, esses conceitos e processos são, acima de tudo, elementos físicos e concretos do mundo real.

Diante da possibilidade de concretizar a experiência de aprendizagem no GI, foram implantadas atividades de colagem, maquetes diversas, imagens, vídeos e outros recursos tecnológicos, como objetos virtuais de aprendizagem, buscando sempre auxiliar o processo de aprendizagem e tornar a aula mais interessante e motivadora.

Segundo Zull (2002), mesmo sabendo que nem todas as ideias abstratas podem ser demonstráveis no mundo real, os professores devem conduzir o processo de ensino-aprendizagem a partir da experiência concreta, pois os conhecimentos prévios vêm do concreto.

O benefício de tornar concreto o conteúdo a ser aprendido apresenta sustentação na teoria neurocientífica. As redes ou circuitos neurais formados no cérebro dos aprendizes a partir da mesma experiência sensorial concreta são semelhantes (ZULL, 2002).

Em outras palavras, as redes neurais de um aprendiz são como réplicas da forma física dos objetos e eventos que compõem a sua experiência concreta (ZULL, 2002). Contudo, Zull (2002) alerta que é importante ressaltar que está se falando da mesma experiência sensorial, mas não perceptiva. Traduzindo para esta pesquisa, os

alunos do GI foram apresentados ao mesmo recurso didático (como as maquetes de DNA, cromossomo e divisão celular), tiveram experiências sensoriais parecidas, porém cada aluno certamente interpretou ou percebeu de maneira distinta.

Zull (2002) afirma que quase todos os cérebros interpretam ou atribuem significado de maneira singular, pois as percepções e significados dependem de redes neurais de outras partes não sensíveis do cérebro.

Adicionalmente, Zull (2002) afirma que o professor deve começar o processo de ensino com exemplos concretos, pois o abstrato terá mais significado quando estabelece conexões com as redes neurais formadas na experiência concreta. É por isso que o ensino de medicina deve começar com o contato com pacientes e o ensino de genética com a abordagem dos traços familiares dos alunos, como realizado neste estudo, por exemplo, na contextualização das leis mendelianas, descritas adiante.

Ausubel (2003) também realizou importantes considerações acerca da dimensão concreta-abstrata do desenvolvimento cognitivo. Sua teoria auxilia na compreensão de como ocorre a aprendizagem de conceitos. Segundo este autor, em aprendizes da escola primária, a aprendizagem conceitual geralmente se realiza com o auxílio de referentes empíricos, concretos dos eventos ou objetos, diferentemente de aprendizes adolescentes e adultos que a realizam por meio da abstração.

No entanto, embora a maturidade cognitiva aconteça em uma evolução da dimensão concreta para a abstrata, Ausubel (2003) ressalta que qualquer aprendiz (do secundário a universitários), necessita passar por todas as fases do desenvolvimento cognitivo quando se confrontam com um novo assunto, assim também podem necessitar da experiência concreta para a formação de conceitos.

Segundo Ausubel (2003), aprendizes adolescentes podem levar vantagem em relação às crianças em função da existência de:

(...) factores responsáveis pelo progresso da maturidade (a existência de um grande conjunto ou 'massa crítica' de abstrações estáveis na estrutura cognitiva e de termos transaccionais suficientes para as relacionar umas com as outras, bem como uma experiência considerável na compreensão e manipulação de ideias abstractas sem a vantagem de apoios concretos noutras disciplinas) são transferíveis para a nova disciplina. Por conseguinte, estes factores aceleram a transição da compreensão concreta para a abstracta e, logo, na nova área de matérias. Assim sendo, tendo em conta as determinantes do desenvolvimento cognitivo, é possível, com alguns limites, acelerar o aparecimento da nova fase da sequência, através do fornecimento de experiências escolares construídas, de forma apropriada, pouco antes do final de cada fase (AUSUBEL, 2003, p.14).

Como visto na AVALIAÇÃO DOS SUBSUNÇORES DE GENÉTICA, muitos dos conceitos de genética parecem que nunca foram vistos ou experimentados pelos alunos. Como orienta Zull (2002), conceitos novos devem ser sempre trabalhados com auxílio de referentes concretos. É possível que nosso cérebro, na interação com o mundo físico durante toda nossa história, tenha criado redes neurais que possibilitassem entender a nós mesmos e o mundo, uma vez que as ideias como tempo, tamanho, forma, causalidade, massa, dureza, etc, surgiram do mundo concreto.

O fato de andar de carro ou observar automóveis circulando é uma experiência concreta que pode auxiliar no entendimento de conceitos como aceleração e velocidade (ZULL, 2002). Já na genética, a utilização de vídeos e animações para explicar processos altamente complexos e abstratos da genética, como replicação e transcrição do DNA, síntese de proteínas, regulação gênica, são exemplos.

Além de concretizar o assunto, este programa de ensino também buscou enfatizar a interação social. A maioria dos trabalhos foi realizada em grupo, e a interação intergrupos foi incentivada. A interação social é importante na aprendizagem, provando ser eficaz para que os alunos organizem seus pensamentos e reflitam sobre a sua compreensão (OKITA, 2012). Segundo Ramos, (2014, p. 268), “o cérebro é social, desenvolve-se melhor em contato com outros cérebros”.

Em todas as aulas, exposições extensas de conteúdo foram evitadas, para não comprometer a atenção e interesse dos alunos. Por isso, em todas as aulas do GI, o tempo total da aula (50 minutos) foi dividido da seguinte forma: 25 minutos de desenvolvimento de conteúdo, 5 minutos de descanso, 20 minutos de exposição do conteúdo. Nestes 5 minutos de descanso, os alunos tiveram um momento para descontração (conversar com os colegas, contar piadas, entre outros). Esta estratégia foi utilizada visando evitar a sobrecarga de informações na memória operacional.

A memória operacional desempenha um papel crucial na aprendizagem, facilitando a formação, fortalecimento e expansão da memória de longo prazo (GUY; BYRNE, 2013). Assim, em conformidade com a literatura, no GI foram utilizadas estratégias visando facilitar a memória operacional, por exemplo, focalização nos pontos principais do conteúdo de genética e a remoção de distratores em potencial, como grupos de estudo formados por alunos indisciplinados.

Pode-se dizer que o conteúdo de Genética foi trabalhado a partir da terceira aula. Como será visto nos parágrafos adiante, a ênfase foi dada ao ensino das leis mendelianas, conforme o planejamento do professor, baseado nas Diretrizes Curriculares para o Estado do Paraná, bem como do referido livro-texto utilizado.

Considerando o ponto de vista neurocientífico de Zull (2002), provavelmente o cérebro dos alunos, de ambos os grupos, não estava bem preparado para novas aprendizagens em Genética. Em outras palavras, no cérebro dos alunos, as redes neurais não continham informações suficientes para ancorar novos conhecimentos, como as leis mendelianas.

Contudo, segundo Zull (2002), os professores, talvez, não levam em consideração os conhecimentos prévios ou imaginam que seus alunos já os possuam. Neste estudo, como visto, muitos alunos, de ambos os grupos, apresentaram concepções extremamente equivocadas sobre diversos temas da área de genética teoricamente trabalhados nos anos anteriores. As experiências equivocadas de aprendizagem os conduziram, também, a crenças equivocadas, e essas crenças estavam firmemente fixadas em suas redes neurais (ZULL, 2002).

Diante disso, o ensino de novos conceitos de genética a partir deste Programa Neurocientífico de Ensino foi um desafio. Assim como David Ausubel, James Zull (2002) acredita que é difícil aprender algo que não esteja conectado de alguma forma com os conhecimentos anteriores. Estes autores acreditam que o ensino precisa acontecer a partir de conhecimentos prévios.

Sobre isso, Zull (2002) apresenta uma analogia interessante:

Imagine que você pousou em uma ilha deserta e encontra uma outra pessoa. Esta pessoa apresenta uma linguagem e cultura diferente da sua. Você poderia se comunicar com ela? Certamente que sim! Mas como faria isso? Você encontraria algo que vocês entenderiam. Poderia ser um gesto, um movimento do seu dedo indicador que diga "Venha aqui!" Pode ser um riso ou um soluço. Mas seja o que for, você deve encontrar algum conhecimento prévio que você compartilhe (ZULL, 2002, p.94).

O professor iniciou a aula com uma breve discussão sobre as principais teorias acerca da hereditariedade, como: pangênese, pré-formismo, geração espontânea, epigênese e teoria da mistura. Utilizou como referência o capítulo 1 "Primeiras teorias sobre hereditariedade" (p.18) do livro-texto de Biologia¹². O vídeo

¹²Brockelmann, R. H. Conexões com a Biologia. Componente Curricular: Biologia. Editora Moderna, 2014.

“Evolução das Ideias sobre Herança Biológica e Conceitos Básicos em Genética”¹³, foi utilizado como material complementar, sugerido pelo pesquisador.

Pode-se dizer que a aula acima gerou uma discussão bastante breve, em função do tempo curto disponível (50 minutos). Aliás, é importante ressaltar que o tempo reduzido das aulas foi um fator limitador para o desenvolvimento da maioria das atividades previstas durante todo o programa. No período da intervenção, o tempo destinado à disciplina de Biologia no terceiro ano eram duas aulas por semana, separadas em dois dias.

No período compreendido entre a quarta e a oitava aula, o professor apresentou a 1ª Lei de Mendel ou Lei da Segregação dos Fatores. Utilizou como referência o capítulo intitulado “A Primeira Lei de Mendel” (p.21) do livro texto, mencionado anteriormente.

Para contextualizar o assunto, inicialmente, o professor realizou uma discussão sobre algumas características monogênicas, por exemplo, “Quem consegue dobrar a língua em U?”; “Quantos alunos possuem lóbulo da orelha solto?”; “Quantos alunos possuem olhos castanhos?”, entre outras. Esta atividade foi bastante divertida, todos os alunos participaram.

Em seguida, por sugestão do pesquisador, o professor apresentou o vídeo “Mendel e a ervilha: uma estranha ervilha na vagem”, produzido pelo canal “National Geographic”. O vídeo encontra-se disponível no Youtube, endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=tfjDJE4kWhM>.

Os recursos didáticos acima possibilitaram a discussão de características condicionadas por um par de genes, ou seja, as características monogênicas. Os conceitos gene recessivo e dominante, homozigoto e dominante, linhagens puras e híbridas, também foram introduzidos.

Como ressaltam Borges *et al.* (2017), para alguns alunos, a fonte das dificuldades do aprendizado das Leis de Mendel está na ausência de recursos ou materiais didáticos e criativos, como as animações, que tornam as aulas mais interessantes e criativas (BORGES *et al.*, 2017).

Durante estas aulas, o professor passou diversos exercícios básicos envolvendo características monogênicas. Conforme a sua experiência, é importante trabalhar intensa e detalhadamente os exercícios sobre os cruzamentos monoíbridos,

¹³ Vídeo presente no Canal Youtube, no endereço <https://www.youtube.com/watch?v=sNGu4uCkRWw>.

pois somente com um conhecimento sólido sobre os mesmos é possível entender a Segunda Lei de Mendel e outros temas relacionados.

De fato, segundo Borges *et al.* (2017), alguns alunos consideram que somente a aula expositiva e a realização de exercícios possibilitam o aprendizado das Leis de Mendel. Por isso, a repetição, muito utilizada neste estudo, é fundamental para a aprendizagem significativa.

Segundo Ramos (2014), estudos mostram que a repetição melhora a memória de reconhecimento, fator confirmado em estudos de fMRI. Assim, os professores devem trabalhar os tópicos diversas vezes e por diferentes perspectivas e, com isso, aprofundar o conteúdo estudado.

Na sequência, são apresentados alguns exemplos de exercícios básicos criados pelo professor e utilizados em ambas as turmas.

“Do cruzamento entre tomate vermelho (puro) e tomate amarelo (puro), sendo que amarelo é a variedade recessiva. Quais as características genótípicas e fenotípicas obtidas?”

“Ao cruzarmos um galo de pena vermelha (puro) com uma galinha de pena preta (híbrida), quais as proporções fenotípicas e genótípicas obtidas?”

A partir dos exemplos acima, uma lista de exercícios do mesmo nível foi aplicada para ambos os grupos. Nesta atividade, percebeu-se que o GC apresentou desempenho superior ao grupo GI. Contudo, observou-se nestes exercícios que ambos os grupos apresentaram dificuldades com termos fundamentais da genética clássica, por exemplo, a semelhança entre híbrido e heterozigoto, puro que pode ser dominante ou recessivo, além do fato de que os heterozigotos expressam alelos dominantes e que alelos recessivos só expressam características quando aparecem em dose dupla.

Adicionalmente, o pesquisador apresentou uma atividade em grupo para o GI visando consolidar o aprendizado de conceitos de genótipo e fenótipo, híbrido e puro, dominante e recessivo, homozigoto e heterozigoto. Porém, durante a formação de grupos, alguns conflitos ocorreram. Algumas alunas queriam formar grupos com suas colegas mais próximas, sendo impedidas pelo professor. A aluna B3, separada da

colega B27, declarou: “Pois agora eu não faço nada” (sic). Contudo, ambas acabaram participando efetivamente da atividade.

O grupo GI foi então dividido por sorteio em 10 grupos, contendo 2-3 alunos em cada grupo. Em seguida, outro sorteio aconteceu, com intuito de determinar quais grupos responderiam as questões propostas na atividade e quais grupos as corrigiriam apresentando a justificativa.

A primeira questão proposta pelo pesquisador foi a seguinte: “Em uma raça bovina, animais mochos são dominantes em relação a animais com chifres. O cruzamento de animais híbridos produziu oito descendentes. Qual a proporção genotípica e fenotípica da prole?”. Nesta questão, a resposta esperada seria a de que do cruzamento de animais híbridos com genótipo Cc, seriam produzidos genótipos Cc (50%), CC (25%), cc (25%) e fenótipos de 75% animais mochos e 25% de animais com chifres.

Foi observado que nenhum grupo respondeu e corrigiu corretamente. Entretanto, houve um grupo que erroneamente cruzou animais híbridos com dominantes puros (Cc x CC), errando as proporções genotípicas, mas curiosamente, acertou as proporções fenotípicas.

Um grupo erroneamente cruzou animais híbridos com recessivos puros (Cc x cc), obtendo as proporções genotípicas corretas, porém erraram as proporções fenotípicas, mencionando a resposta “Fenótipo e mocho 50%”. Também houve um grupo que respondeu da seguinte maneira: “vai ser a mesma dos animais mochos, pois eles são dominantes, o híbrido sempre será dominante por possuir Aa”.

Adicionalmente, houve um grupo de alunos que cruzou animais homocigoto dominante com heterocigoto (AA x Aa) e, incorretamente, afirmou: “50% genótipo e 50% fenótipo”.

Nitidamente, percebeu-se uma confusão e desconhecimento de termos como fenótipo e genótipo e as formas de realizar cruzamentos monóíbridos*.

Em um estudo recente, Borges *et al.* (2017) afirmaram que os alunos relatam dificuldades em assimilar os conceitos da primeira lei porque se trata de um conteúdo com vocabulário excessivo e específico, com terminologias difíceis e parecidas, como os conceitos de recessivo/dominante; homocigoto/heterocigoto; genótipo/fenótipo.

Para resolver problemas clássicos da genética mendeliana, como cruzamentos monóíbridos e di-híbridos, é vital para os estudantes o entendimento das

terminologias usadas na genética clássica, descritas acima (AWANG-KANAK *et al.*, 2016). Nas palavras de Borges *et al.* (2017)

Podemos observar que diretamente ligada a essa dificuldade de aprendizagem das Leis de Mendel está a dificuldade conceitual em que as terminologias estão ligadas, pois a relação de eventos com determinados nomes parecidos induz os alunos a um possível erro e, se não houver a compreensão correta dos nomes, haverá uma confusão entre os conceitos e suas aplicações (BORGES *et al.*, 2017, p.69)

Por conta das dificuldades apresentadas na atividade anterior, bem como para reforçar o conteúdo apresentado, o pesquisador e o professor decidiram trabalhar os conceitos genótipo e fenótipo a partir de ‘tirinhas’. Além disso, aplicou-se uma atividade “mais concreta” com objetivo de reforçar conceitos de puro e híbrido, além do próprio cruzamento monófrido.

A atividade consistiu em construir as proporções genótípicas e fenotípicas a partir de uma colagem de figurinhas com os respectivos fenótipos (Apêndice E). Esta atividade despertou interesse da maioria dos alunos, e vários comentários positivos foram proferidos pelos alunos: “Nossa, que legal!”, “Professor, você tem mais figurinhas para eu colar em meu caderno?” (alunos B3, B6, B1).

As duas primeiras atividades, consideradas mais fáceis, fez com que a maioria dos alunos não tivesse dificuldades para realizar, como no exemplo apresentado na sequência,

Figura 6 – Atividade de colagem para o estudo do conceito de fenótipo.



Fonte: o autor

Figura 7 – Atividade de colagem para o estudo dos conceitos de genótipo e fenótipo.

Em cães, utilizamos o gene recessivo (c) para orelhas caídas e o gene dominante (C) para orelhas pontiagudas. Um cão macho com genótipo Cc cruzou com uma fêmea com o genótipo cc e deu à luz uma ninhada de 10 filhotes. Qual é a proporção esperada de filhotes com orelhas caídas?

Handwritten calculations:

$$\begin{array}{c} Cc \\ \times \\ cc \\ \hline Cc \\ Cc \\ cc \\ cc \end{array}$$

orelhas caídas = $\frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 0,5 \times 100 = 50\%$

orelhas pontiagudas = $\frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 0,5 \times 100 = 50\%$

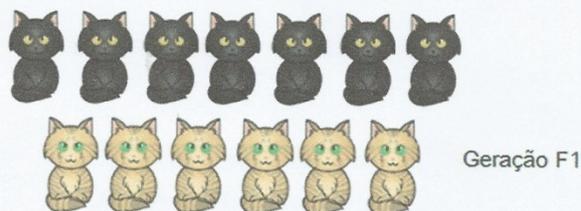
Fonte: o autor

Contudo, as duas atividades posteriores exigiram um pouco mais de raciocínio lógico para descobrir o genótipo a partir do fenótipo dos indivíduos apresentados. Nesta, a maioria dos alunos teve dificuldades para realizar. Vale ressaltar que em todos os exercícios, o professor e o pesquisador deram assistência durante a execução e, posteriormente, realizaram a correção no quadro negro com o esclarecimento das dúvidas.

Figura 8A – Atividade para descobrir o genótipo dos gatos.

Um gato da cor marrom foi cruzado com duas fêmeas. A primeira fêmea era da cor preta, e teve 7 filhotes da cor preta e 6 filhotes da cor marrom. Já a outra fêmea, também era da cor preta, e teve 14 filhotes, sendo todos eles da cor preta. Determine:

a) Genótipo do macho, da primeira e da segunda fêmea respectivamente.



Fonte: o autor

Figura 8B – Atividade para descobrir o genótipo dos gatos.

b) Probabilidade de nascerem filhotes marrons a partir do cruzamento de gatos pretos híbridos.

The diagram shows two black hybrid cats (Mm) crossed. The resulting litter consists of five kittens: three black (Mm) and two brown (mm).

Handwritten Punnett square and calculation:

$$\begin{array}{cc}
 Mm & Mm \\
 \hline
 Mm & Mm \\
 mm & mm
 \end{array}$$

$$\text{probabilidade} = \frac{1}{4} = 0,25 \times 100 = 25\%$$

Fonte: o autor

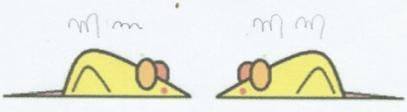
Figura 8C – Atividade para descobrir o genótipo dos camundongos

Grupo 2.

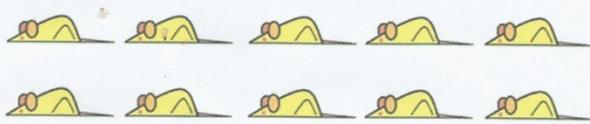
Em camundongos a cor amarela é dominante em relação a cor marrom. Um camundongo amarelo cruzou com duas fêmeas amarelas. Com a fêmea 1, produziu 10 descendentes, todos amarelos. Com a fêmea 2, produziu 12 descendentes, sendo 10 amarelos e 2 marrons. Determine o genótipo da geração parental.

Fêmea 1

Geração Parental



Geração F1

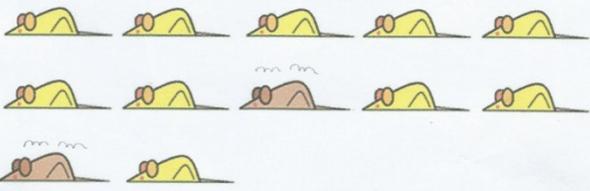


Fêmea 2

Geração Parental



Geração F1



Fonte: o autor

De forma geral, os alunos de ambas as turmas apresentaram dificuldade em aprender significativamente a Primeira Lei de Mendel, os conceitos relacionados (puro e híbrido, recessivo e dominante, homozigoto e heterozigoto), bem como os cálculos matemáticos requeridos para se obter as proporções genotípicas e fenotípicas nos exercícios.

Dificuldades parecidas foram observadas por Fabrício *et al.* (2006) em um estudo realizado com alunos do segundo ano do Ensino Médio de uma Escola Pública Federal brasileira. Os participantes de tal pesquisa mostraram dificuldades na

assimilação de conceitos relacionados à Primeira Lei e na construção e realização de cálculos matemáticos relacionados ao Quadro de Punnett. Contudo, segundo os pesquisadores, o mais preocupante é que as dificuldades encontradas em estudantes do ensino médio persistem em licenciandos em Ciências Biológicas, que serão futuros professores de Ciências e Biologia (FABRÍCIO *et al.*, 2006).

Para entender as leis de Mendel, segundo Borges *et al.* (2017), é preciso:

(...) uma boa abordagem do conteúdo pelo professor em sala de aula, o domínio da matemática, principalmente do assunto de probabilidade, pois esta é um elemento essencial para a aprendizagem dos cálculos genéticos e o hábito de estudar constante e rotineiramente também pode facilitar o aprendizado desses conteúdos (BORGES *et al.*, 2017, p. 70).

Para compreender significativamente os mecanismos envolvidos na transmissão de caracteres hereditários, é importante ter conhecimentos prévios em alguns assuntos biológicos, especialmente as divisões celulares, conceitos de gene e cromossomo e suas relações. Como visto desde o início deste trabalho, os alunos apresentaram poucos conhecimentos prévios de genética básica, o que comprometeu o entendimento da primeira Lei de Mendel.

A fragmentação do conteúdo marcada pela desconexão com outros temas biológicos como biologia celular, divisões celulares, controle celular, morfologia celular entre outros, dificulta o aprendizado significativo da genética mendeliana (KILIÇ *et al.*, 2016). Neste estudo, a primeira lei mendeliana foi apresentada sem uma revisão de conteúdos, sem uma relação com aquilo que foi supostamente aprendido na disciplina de Biologia, em anos anteriores.

A administração fragmentada, descontextualizada e desatualizada do conteúdo são fatores criticados por vários estudos na área de Ensino de Genética. Estes estudos afirmam que muitos professores não estão totalmente preparados para administrar o conteúdo de genética, que envolve questões éticas, morais, econômicas, políticas, entre outras. A fragmentação do conteúdo é facilmente observada no livro didático, na organização curricular e no discurso dos professores (GOLDBACH *et al.*, 2009; 2009).

O ensino baseado na memorização e fragmentação do conteúdo dissociado do cotidiano dos estudantes dificulta a aprendizagem significativa de genética (PEDRANCINI *et al.*, 2011). Novamente, citando Goldbach *et al.* (2009),

É tarefa fundamental se criticar a abordagem simplificada presente na “genética escolar”, o que inclui a busca de novos exemplos didáticos para a construção de um olhar adequado para o complexo processo da hereditariedade. Sugere-se valorizar estudos de casos que favoreçam uma visão atual da genética, incluindo interação gênica, pleiotropia, epistasia, com o objetivo de reposicioná-los em grau de importância (GOLDBACH *et al.*, 2009, p. 1884)

Este momento também é oportuno para se realizar outra crítica em relação ao ensino e pesquisa no campo das Ciências Biológicas. Além da fragmentação e descontextualização do assunto, estudos têm mostrado que o conceito de organismo perdeu sua centralidade como objeto de estudo na Biologia. Os autores ressaltam que isso vem acontecendo em função da “crescente ênfase nos aspectos moleculares e ao fato da biologia evolucionista não ter atribuído por um longo tempo um papel explicativo claro ao organismo em sua estrutura conceitual” (MEGLHIORATTI *et al.*, 2012, p. 7).

A ênfase em aspectos moleculares, químicos e físicos, por exemplo, acaba por fazer com que a Biologia perca seus status de ciência autônoma. Os aspectos físico-químicos e moleculares são importantes para a compreensão dos fenômenos biológicos, porém estes não podem ser explicados a partir de uma abordagem reducionista (MEGLHIORATTI *et al.*, 2009, 2012).

O organismo precisa ser estudado em sua totalidade, como entidade ativa na interação com o ambiente, e não apenas algo passivo que sofre ação de fatores evolutivos e genético-moleculares. O organismo precisa retomar seu status como objeto de estudo da biologia, tanto no campo da pesquisa científica quanto no âmbito do ensino. Retomar o conceito de organismo permite situar ou demarcar a biologia como ciência autônoma, com objeto de estudo próprio, delineando contornos em relação a outros domínios, como a química.

Segundo Meglhioratti *et al.* (2012)

Por exemplo, pode-se questionar como a Biologia se distingue da Química. A resposta a essa pergunta pode ser pautada pela definição dos diferentes objetos de estudo dessas ciências. Assim, apesar da ênfase atual nos componentes moleculares dos sistemas vivos, a Biologia tem como foco de estudo (ou, ao menos, deveria ter) o organismo, ou seja, como o organismo e constitui mediante as interações moleculares e ambientais. Na Química, por sua vez, o foco da investigação recai sobre as moléculas, como elas são constituídas e interagem umas com as outras (MEGLHIORATTI *et al.* 2012, p. 8).

Ressalta-se que o Programa Neurocientífico de Ensino adotado e seus recursos didáticos buscaram minimizar os problemas e dificuldades anteriormente citadas no ensino de genética. Segundo as palavras de Goldbach *et al.* (2009), para minimizar os problemas no ensino de genética, o professor deve empregar:

(...) atividades didáticas integradoras – DNA X cromossomos, genes alelos e divisão celular, interpretação molecular-bioquímica dos fenótipos, etc. As confusões terminológicas do tema podem ser evitadas quando o processo de ensino-aprendizagem é realizado passo a passo, dando maior ênfase aos processos do que às estruturas, e quando são utilizados materiais de apoio visuais e concretos (filmes, fotos, aulas práticas, situações-problemas etc.) (GOLDBACH *et al.*, 2009, p. 1883-84)

Neste estudo, os diversos recursos neurocientíficos utilizados, baseados na estimulação de vários canais sensoriais e na motivação, contribuíram para facilitar a exposição e a aprendizagem, mesmo que limitadas, dos conceitos e cálculos requeridos na genética mendeliana, bem como tornaram as aulas mais atrativas e interessantes.

Uma revisão de conceitos foi empregada no nono e décimo encontro, buscando minimizar a fragmentação do conteúdo e as diversas concepções errôneas de conceitos fundamentais de genética (ex. DNA, gene, cromossomo e divisões celulares), obtidas no período pré e durante a intervenção.

É importante deixar claro que uma revisão minuciosa de conteúdos é mais adequada no início do trabalho. Entretanto, como dito anteriormente, a orientação do livro-texto e a programação da disciplina de Biologia do terceiro ano afirmava claramente que o conteúdo de genética se iniciaria na genética mendeliana. Assim, teoricamente os conceitos como estrutura e funcionamento celular e divisões celulares, importantes para o estudo de genética, foram abordados no primeiro e segundo anos.

Para a revisão dos conteúdos básicos de genética, no grupo GI, além da aula expositiva com data show, o professor e pesquisador utilizaram diversos recursos didáticos, como maquete do DNA¹⁴ (Figura 9), gene e cromossomo¹⁵ (Figura 10), e

¹⁴ A maquete do DNA foi construída com uma base de madeira medindo 10x15cm, duas hastes de arame, bolinhas de isopor, espátula de madeira, tinta guache (vermelha, amarela, azul, verde). As bolas brancas representam o açúcar desoxirribose, as vermelhas o radical fosfato e as espátulas as bases nitrogenadas, sendo azul (guanina), amarelo (citosina), vermelho (timina) e verde (adenina).

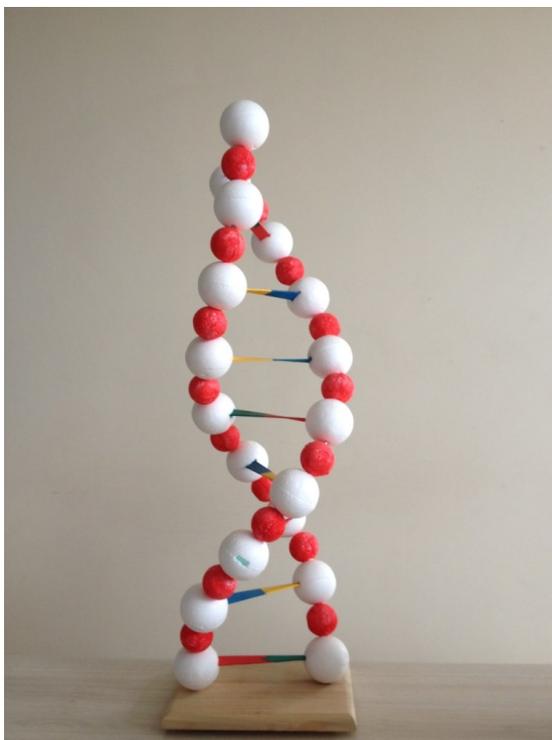
¹⁵ O cromossomo foi construído com tubos flexíveis transparentes atóxicos, lã cor verde escuro, fita crepe e caneta. Inicialmente, cortou-se os tubos plásticos em tamanhos iguais (aproximadamente 12cm), representando os braços do cromossomo. Em seguida, cada tubo foi incorporado em toda sua extensão com a lã. A figura 10 mostra um cromossomo submetacêntrico, pois os braços (tubos

alguns vídeos. Foi aplicada uma atividade individual visando a identificação dos constituintes dos nucleotídeos do DNA, a relação DNA/gene/cromossomo (Apêndice F).

De forma geral, a atividade demonstrou que os alunos desconheciam os constituintes básicos do DNA, bem como a relação DNA/gene/cromossomo. Somente cerca de 53% entregaram a atividade e, destes, somente 33% dos alunos fizeram tudo corretamente. Percebeu-se que alguns alunos entregaram a atividade incompleta, sem relacionar DNA/gene/cromossomo, outros com erros e confusão no pareamento de bases nitrogenadas. Houve alunos que parearam incorretamente adenina com timina com três pontes de hidrogênio, bem como citosina com guanina com duas pontes; outros parearam incorretamente citosina com timina e guanina com adenina.

Vale lembrar que o ideal seria a construção das maquetes em sala de aula, junto com os alunos. Entretanto, por conta do tempo curto de duração da aula, as maquetes foram previamente construídas pelo pesquisador e professor, ficando disponíveis aos alunos para manuseio nas aulas seguintes.

Figura 9 – Maquete do DNA.



Fonte: o autor

enovelados) foram unidos um pouco afastados do centro, ou seja, o centrômero não se encontra no meio do cromossomo. A fita crepe representa os alelos de um determinado gene, identificados por símbolos, por exemplo, gene Aa, AA, bb e, assim por diante.

Figura 10 – Maquete do Cromossomo.



Fonte: o autor

Durante a 11^a e 12^a aulas, o professor apresentou a base cromossômica da primeira lei de Mendel. Aproveitando o momento, realizou-se também, um reforço dos processos de divisão celular (mitose e meiose).

O vídeo “Câncer”¹⁶ permitiu a contextualização do assunto “divisão celular”. O capítulo 4 “Bases físicas da hereditariedade” (p.30-32) foi utilizado como referência. Além da aula expositiva com data show, o professor apresentou um breve vídeo sobre mitose e meiose.

Uma maquete mostrando a base cromossômica da primeira Lei de Mendel também foi apresentada (Figura 11). Esta maquete apresentou uma parte da meiose, importante para mostrar o princípio da formação dos gametas.

A maquete da divisão celular foi construída com uma placa de isopor de 100 x 50cm, espessura de 10mm. Os desenhos foram realizados em cartolina com caneta hidrográfica preta e, posteriormente, foram colados na placa de isopor. A cromatina foi representada com fios de lã azul e rosa. Os cromossomos foram construídos com o mesmo material referido anteriormente.

¹⁶ Vídeo produzido pela Medical Media, TV Saúde., aprovado por Ayaz M. Khah. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=s7KrvYK4yaY>.

Figura 11 - Maquete mostrando uma parte da divisão celular meiótica.



Fonte: o autor.

Para reforçar a aprendizagem dos conceitos apresentados até a 12^a aula¹⁷, foi apresentada uma atividade de palavras cruzadas (Apêndice G). Percebeu-se pouco interesse dos alunos na atividade, e somente 52% dos alunos a entregaram, muitos em período posterior ao determinado.

A maioria dos alunos (~87%) respondeu “filamento” ao invés de “cromátide” para o item 24 “Corresponde a cada um dos filamentos de um cromossomo duplicado” e “gêmula” ao invés de “genoma” para o item 26 “Representa o número de genes de uma espécie”. Em menor número, 33% dos alunos não souberam ou responderam incorretamente o item 14 “Segundo esta teoria, os seres vivos podiam surgir espontaneamente a partir da transformação de matéria inanimada” cuja resposta esperada seria “geração espontânea”, conceito apresentado na terceira aula, quando foram discutidas as principais teorias sobre a hereditariedade.

Mesmo com tempo disponível e a possibilidade de consulta a diversas fontes bibliográficas, a média de erros do GI na palavra cruzada foi de aproximadamente 3 itens por aluno. Além disso, 40% dos alunos apresentaram erros de português na palavra cruzada, como “pangenide” (pangênese), “Mendeo” (Mendel), “heterosigoto” (heterozigoto), “homoziboto” (homozigoto), “emiosi” e “meiosi” (meiose), entre outros.

A Segunda Lei de Mendel foi trabalhada durante as 13^a a 16^a aulas. Como recursos didáticos, o professor utilizou aulas expositivas, com auxílio do quadro negro e data show. O capítulo “A Segunda Lei de Mendel” (p.27-29) foi usado como

¹⁷ Conceitos relacionados à divisão celular, estrutura dos cromossomos, homozigoto e heterozigoto, entre outros.

referência. Os alunos fizeram alguns exercícios básicos, e um objeto virtual de aprendizagem (OVA) produzido pela UNICAMP¹⁸ foi utilizado para complementar o processo de aprendizagem. A partir deste OVA, o pesquisador passou uma atividade complementar como tarefa de casa (Apêndice H), que nenhum aluno entregou.

O último conteúdo apresentado neste programa foi a construção e interpretação de heredogramas. Com auxílio do capítulo “Herança Dominante e Recessiva” (p.33-37), o professor apresentou os principais símbolos usados em heredogramas, ensinando seus alunos a construir e interpretar basicamente heredogramas de doenças recessivas e dominantes.

Inicialmente, para contextualizar o assunto, o pesquisador passou uma parte do videodocumentário intitulado “Convivendo com a Doença de Huntington”, presente no site youtube no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=Dp-K5ocQVbl>. Este videodocumentário foi produzido por alunos de jornalismo da Universidade Anhembi Morumbi, sem fins lucrativos, com o apoio de diversas instituições, entre elas, a Associação Brasil Huntington.

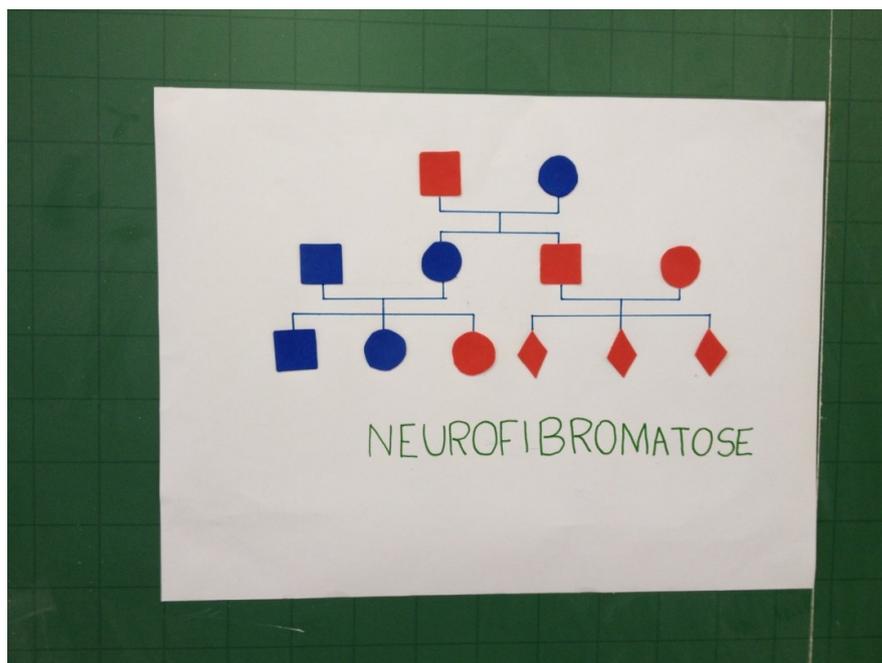
Além do videodocumentário, uma imagem da proteína huntinina (Apêndice I) permitiu uma melhor abordagem do assunto, bem como reforçar o conceito e função das proteínas. Em seguida, os alunos construíram heredogramas de algumas doenças genéticas.

Para esta atividade, o professor passou algumas situações-problemas, sendo um caso de neurofibromatose, daltonismo, Doença de Huntington entre outros. Os alunos utilizaram cartolina, EVA, cola, canetinhas coloridas, régua e tesoura para confeccionar seu heredograma (Figura 12A e 12B).

Os alunos aprenderam a regra de construção de heredogramas, da qual indivíduos afetados são representados por símbolos na cor preta, e os normais por símbolos brancos. Contudo, durante a construção dos seus trabalhos, solicitaram, e lhes foi permitido, usar símbolos coloridos, como na figura 12A, em que a cor azul representa indivíduos afetados pela neurofibromatose e, a cor vermelha, representa indivíduos normais.

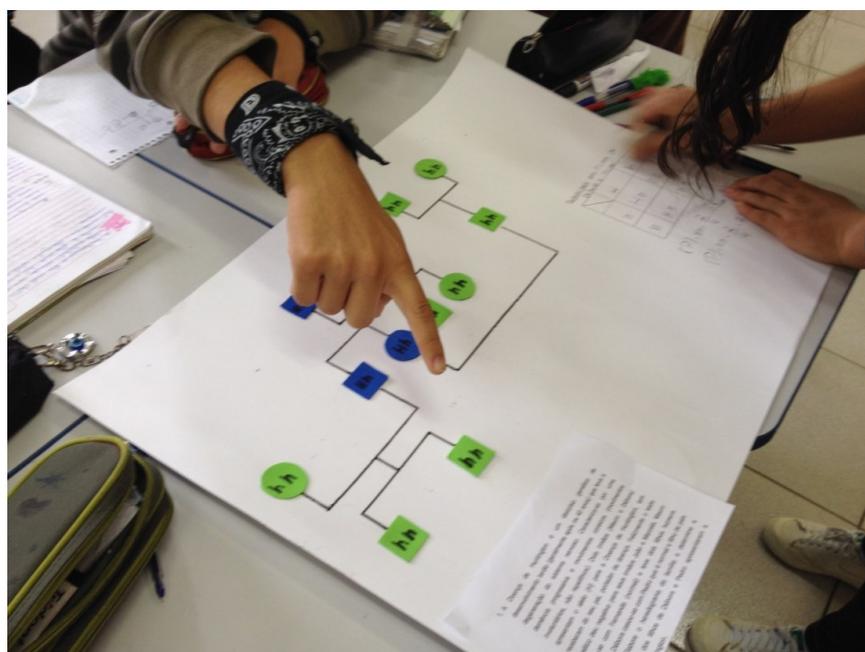
¹⁸ SANTOS, Erica R. D.; SANTORO, Carlos E.; GALEMBECK, Eduardo. Segunda lei de Mendel. **Projeto EMBRIO**, 31 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.embriao.ib.unicamp.br/embriao2/visualizarMaterial.php?idMaterial=1406>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

Figura 12A – Heredograma produzido pelos alunos



Fonte: o autor.

Figura 12B – Heredograma produzido pelos alunos



Fonte: o autor.

Na penúltima aula desta intervenção, o pesquisador distribuiu aos alunos, um mapa conceitual dos conceitos trabalhados (Apêndice J), com a finalidade de realizar uma breve discussão a respeito do mesmo, cujo objetivo era introduzir um conteúdo novo para cumprir o cronograma previamente estabelecido. Nesta aula, os alunos

também foram orientados a estudar todo conteúdo apresentado, pois seria aplicado um jogo avaliativo no próximo encontro. O professor e o pesquisador pediram que os alunos utilizassem o mapa conceitual como forma de orientação do seu estudo.

Na última sessão da intervenção, realizou-se então o *Jogo das três Pistas*. Este jogo foi inspirado no Jogo das 3 Pistas apresentado pelo canal SBT (Sistema Brasileiro de Televisão) aos domingos.

Este jogo foi elaborado pelo pesquisador e é o produto educacional desta pesquisa. Tratou-se de um jogo bastante simples envolvendo todos os alunos. O tempo para a atividade foi de 50 minutos ou uma hora/aula. Os conceitos da genética clássica (fenótipo, genótipo, dominância, recessividade, entre outros) e molecular (DNA, gene, cromossomos) foram abordados.

É importante ressaltar que, durante a confecção do jogo e demais materiais utilizados nesta intervenção, priorizou-se pela utilização de materiais de baixo custo e facilmente disponíveis (como isopor, cartolina, tinta guache, dado, envelopes de papel). Por isso, o jogo pode ser facilmente confeccionado e aplicado em qualquer contexto educacional.

Considerando os 20 alunos¹⁹ desta turma, os materiais usados na atividade foram os seguintes:

- Uma roleta (Figura 13) de isopor para abrigar os envelopes.
- 10 envelopes contendo 3 dicas para uma determinada resposta (Apêndice L), apresenta-se os pontos abordados.
- Uma mesa para abrigar a roleta.
- Um dado clássico, cubo com seis faces, gravado com números de um a seis.

Para iniciar a atividade, dividiram-se os alunos (por sorteio) em grupos iguais. Cada grupo recebeu uma nomeação, *Grupo 1*, *Grupo 2*, *Grupo 3* e *Grupo 4*. Os grupos podem ser nomeados conforme a preferência dos alunos participantes.

¹⁹ Número de alunos que participaram da atividade. Para uma turma com 30 alunos, 15 envelopes deverão ser confeccionados; se for de 40 alunos, 20 envelopes, e assim por diante. Se o número de participantes for ímpar, o professor poderá incluir, por sorteio, um “participante adicional” em um dos grupos. Também deverá sortear um participante do grupo adversário para competir com o “participante adicional”.

Em seguida, através de sorteio, configurou-se um quadro de competições (quadro 10). Neste, os alunos do grupo 1 competiram em dupla com os alunos do grupo 2, os alunos do grupo 3 competiram em dupla com os alunos do grupo 4.

Quadro 10 – Quadro de competições.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
B3	B1	B5	B4
B6	B2	B9	B7
B8	B11	B12	B13
B27	B14	B24	B26
B28	B22	B25	B29

Fonte: o autor

Figura 13 – Roleta e envelopes.



Fonte: o autor

Como pode ser observado no quadro 10, inicialmente os alunos competiram em duplas, por exemplo, B3 x B1, B9 x B7 e, assim por diante, (ver quadro 10). Contudo, eles pontuaram individualmente e para seu grupo.

O aluno que obtinha o maior número no dado começava respondendo. De início, ele girava a roleta e escolhia um envelope, que era aberto pelo professor. O professor, então, anunciava a primeira dica. Quando acertava a resposta com apenas uma dica, o aluno recebia 10 pontos; caso contrário, passava a chance de responder para seu adversário, o qual tinha 2 dicas para encontrar a resposta, que neste momento valia 9 pontos. Se não obtivesse êxito, a oportunidade de responder

retornava ao competidor inicial, que teria 3 dicas para acertar a resposta e marcar 8 pontos.

Quando a dupla de competidores não encontrava a resposta com as três dicas, a solução deveria ser descoberta pelos alunos integrantes de qualquer grupo, que, no momento, integravam a plateia (figura 15).

Figura 14 – Professor, dupla de competidores e mesa contendo a roleta com os envelopes.



Fonte: autor

As dicas com valor de 10 pontos eram mais gerais e relativamente mais complexas que as dicas com valor de 9 pontos e, assim por diante. Desta forma, o jogo partia do geral para o específico. O professor foi o regente de todas as atividades, e, mesmo quando o aluno respondia corretamente com apenas uma dica e recebia 10 pontos, o professor mencionava as demais dicas com um breve reforço do conceito abordado, ou seja, dava um feedback para todos os alunos.

Foram considerados vencedores os alunos e os grupos que obtiveram o maior número de pontos. Os alunos e os grupos vencedores foram premiados com troféus e medalhas (Figura 16).

Figura 15 – Integrantes da plateia.

Fonte: o autor

Figura 16 – Troféus.

Fonte: o autor

Esta última atividade, de carácter lúdico-avaliativo, marcou o final da intervenção. Considerou-se que durante a implementação do Jogo das Três Pistas houve ampla aceitação da atividade pela maioria dos alunos, que se envolveram efetivamente no jogo. Pôde-se notar que o uso de recompensas, como medalhas e troféus, tornou a atividade ainda mais interessante e estimulou fortemente a competição entre os alunos.

Foi mencionada no referencial teórico desta tese que a utilização de recompensas extrínsecas não é uma forma ideal de motivar os alunos para o

aprendizado. Contudo, como afirma Zull (2002), as recompensas extrínsecas têm seu valor para aqueles aprendizes que ainda não sabem o que gostam, e podem auxiliar os alunos a se interessarem por algo.

Todas as questões do jogo foram respondidas, porém a maior parte dos acertos foi realizada pelos alunos que integravam a plateia. Os melhores desempenhos foram obtidos pelas alunas B3 e B22, ambas integrantes do Grupo 2. Entre as respostas, percebeu-se que tentando adivinhar, os alunos utilizavam em suas respostas palavras como DNA, cromossomos, genótipo, fenótipo, trabalhados durante as aulas.

Como observaram Pedrancini *et al.* (2011), muitas vezes, os alunos não demonstram o entendimento abstrato do conceito de genética, apenas memorizam a palavra, “o que lhes permite somente repetir os termos retidos em sua memória, caracterizando um verbalismo vazio de significado” (PEDRANCINI *et al.*, 2011, p. 123).

Os conceitos da genética mendeliana foram respondidos com maior facilidade que os conceitos fundamentais da genética molecular. Assim, a partir desta atividade, percebeu-se claramente que a maioria dos conceitos fundamentais de genética ainda não estavam consolidados na estrutura cognitiva dos alunos. É importante ressaltar que, se a maioria dos alunos tivesse estudado previamente o conteúdo, o jogo seria, ainda mais, interessante e competitivo.

Neste momento, é possível responder ao terceiro objetivo específico desta tese: “Analisar a eficiência da aplicação de um jogo didático para avaliação de conceitos básicos de genética no período pós-intervenção”. Pode-se afirmar que este jogo é eficiente para avaliar os conceitos de genética, sendo um recurso didático bastante divertido, envolvente, prazeroso e desafiador, capaz de estabelecer ambientes de ensino-aprendizagem que facilitem a expressão de emoções positivas, como alegria, interesse, curiosidade, motivação e entusiasmo. É amplamente conhecido que as emoções estão intimamente vinculadas a processos cognitivos de aprendizagem e memória. Em uma recente entrevista com Bianchini e Oikawa (2013), o renomado neurocientista da memória Ivan Izquierdo destacou que todas as nossas memórias são adquiridas e/ou evocadas com base em alguma emoção, e as memórias mais consolidadas são aquelas que vêm acompanhadas de uma forte carga emocional.

6.6 AVALIAÇÃO DO CONHECIMENTO DE GENÉTICA

Logo após a aplicação do Programa Neurocientífico de Ensino, os alunos de ambos os grupos foram submetidos sequencialmente a dois testes específicos de genética: Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética (Two-tier Genetics Concepts Test - TGCT) de Kiliç e Saglam (2009) e Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética – Two-tier Diagnostic Instrument for Genetics de Tsui e Treagust (2010).

Os testes foram respondidos individualmente em sala de aula. Os alunos tiveram 50 minutos para responder ambos os testes.

Inicialmente, os alunos responderam o Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética (KILIÇ; SAGLAM, 2009), que está dividido em 4 grupos de questões:

- 1) Entendimento do Conceito de Gene (Questões 2, 5 e 7).
- 2) Entendimento do Conceito de Cromossomo (Questões 3, 8 e 13).
- 3) Entendimento das relações entre gene, cromossomo e DNA (Questões 1, 4 e 10).
- 4) Entendimento das relações entre divisões celulares e herança genética (Questões 6, 9, 11 e 12)

Vale lembrar que, para acertar uma questão de ambos os testes, o aluno precisava encontrar a resposta e a justificativa correspondente. Os resultados dos alunos de ambos os grupos são descritos com detalhes na sequência e na tabela 5.

Tabela 5 – Resultados do Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética de Kiliç e Saçlam (2009).

Item	GC		GI	
	Resposta + Justificativa (%)	Alunos que acertaram	Resposta + Justificativa (%)	Alunos que acertaram
2	41	A1, A4, A7, A11, A12, A20, A22, A28, A29, A32, A33	30	B12, B13, B15, B18, B20, B21, B25
5	7	A1 e A28	22	B1, B5, B11, B15, B21
7	0	--	0	--
Média	16		17	
3	0	--	0	--
8	4	A28	22	B12, B15, B29, B21
13	4	A27	9	B7, B14
Média	3		10	
1	11	A1, A5, A13	17	B8, B12, B18, B29

(continua)

Tabela 5 – Resultados do Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética de Kiliç e Sağlam (2009).

Item	GC		GI	
	Resposta + Justificativa (%)	Alunos que acertaram	Resposta + Justificativa (%)	Alunos que acertaram
4	22	A4, A11, A23, A28, A31, A32	35	B1, B12, B14, B15, B20, B23, B25, B27
10	7	A24, A27	13	B14, B21, B27
Média	13		22	
6	26	A1, A4, A15, A16, A22, A24, A32	26	B5, B7, B10, B13, B15, B29
9	4	A4	0	--
11	26	A13, A19, A15, A23, A25, A27, A28	22	B9, B15, B18, B21, B27
12	7	A19, A30	30	B1, B9, B11, B15, B20, B21, B25
Média	16		19	

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

6.6.1 Questões relacionadas ao conhecimento do conceito de gene

Como resposta ao item 2 do teste “Quais células de um indivíduo apresentam os genes que determinam as suas características herdadas?”, os resultados mostraram que 41% do GC (alunos A1, A4, A7, A11, A12, A20, A22, A28, A29, A32, A33) e 30% do GI (alunos B12, B13, B15, B18, B20, B21, B25) declararam e justificaram corretamente que todas as células do indivíduo apresentam os cromossomos cujos genes determinam nossas características hereditárias.

Observou-se também que, 41% do GC (A8, A13, A15, A19, A17, A18, A23, A27, A30, A31, A34) e 39% do GI (B1, B3, B8, B10, B14, B17, B29, B27, B28) declararam que as células sexuais apresentam os genes que determinam as características herdadas. Como justificativa desta afirmação, 54% do GC (A8, A13, A18, A27, A30, A34) e 55% do GI (B1, B3, B10, B14, B27) declararam que as características herdadas são carregadas pelas células sexuais, sendo transferidas para os descendentes através dos cromossomos sexuais.

O item 5 questionou “Onde estão localizados os genes para a cor dos olhos?”. Neste, somente 7% dos alunos do GC (A1 e A28) e 22% do GI (B1, B5, B11, B15, B21) responderam corretamente, afirmando que os genes que determinam a cor dos olhos estão presentes em todas as células.

Contudo, aproximadamente 33% do GC (A7, A8, A12, A19, A17, A18, A22, A24, A29) e 48% do GI (B8, B9, B10, B13, B14, B17, B18, B20, B23, B24, B28) os

genes para a cor dos olhos encontram-se na íris dos olhos. Como justificativa, a maioria destes alunos, de ambas as turmas, respondeu “a íris é a parte do olho responsável pela cor dos olhos”.

Também foi observado que 48% do GC (A2, A4, A5, A13, A15, A16, A20, A23, A27, A31, A32, A33, A34) e 17% dos alunos do GI (B3, B25, B26, B27) afirmaram incorretamente que o gene para a cor dos olhos está nos espermatozoides, pois segundo a maioria destes alunos, “os cromossomos X e Y, que são encontrados nos espermatozoides, carregam todos os genes”.

Para o item 7 “Quais dos seguintes pares de células têm a informação genética idêntica?” Nenhum aluno respondeu e justificou corretamente, ou seja, que as células dos olhos e da pele têm a mesma informação genética. Portanto, ninguém foi capaz de declarar que todas as células somáticas de um indivíduo apresentam os mesmos genes.

Incorretamente, 55% dos alunos do GC (A1, A2, A5, A8, A11, A12, A13, A17, A20, A23, A25, A27, A30, A32, A34) e 61% do GI (B1, B7, B8, B9, B12, B13, B14, B15, B17, B20, B25, B26, B27, B28) afirmaram que os espermatozoides apresentam informação genética idêntica, a maioria justificou que “os espermatozoides de um organismo têm genes idênticos”.

6.6.2 Questões relacionadas ao conhecimento do conceito de cromossomo

O item 3 questionou “Qual é o número de cromossomos de um organismo com a fórmula de $2n = 30 + XY$?”. Os resultados mostraram que 33% do GC (A2, A7, A8, A11, A17, A18, A22, A23, A27) e 30% do GI (B1, B3, B5, B11, B13, B14, B23) declararam corretamente que o número de cromossomos do organismo em questão é 32. Entretanto, nenhum aluno conseguiu justificar corretamente que o número de cromossomos de um organismo é a soma dos cromossomos autossomos e sexuais.

Erroneamente, aproximadamente 55% dos alunos do GC (A4, A5, A12, A13, A19, A16, A24, A25, A28, A29, A30, A31, A32, A33, A34) e 52% do GI (B7, B9, B10, B12, B15, B29, B17, B18, B20, B26, B27, B28) declararam que 64 é o número de cromossomos de um organismo cuja fórmula é $2n = 30 + XY$. Nesta, a maioria justificou incorretamente que $30 + XY$ vêm do pai e $30 + XX$ vêm da mãe, gerando um organismo com 64 cromossomos.

O item 8 questionou “Onde estão localizados os cromossomos que determinam o sexo de um organismo?”. Nesta, somente cerca de 4% do GC (A28) e 22% do GI (B12, B15, B29, B21) acertaram a questão. Estes declararam corretamente que os cromossomos que determinam o sexo do indivíduo estão localizados em todas as células.

A maioria de ambos os grupos, ou seja 74% do GC (A1, A2, A4, A5, A7, A11, A13, A16, A17, A18, A20, A24, A25, A27, A29, A30, A31, A32, A33, A34) e 57% do GI (B1, B3, B7, B8, B10, B13, B17, B18, B20, B23, B25, B26, B27) declarou incorretamente que os cromossomos que determinam o sexo de um organismo estão localizados apenas nos espermatozoides e óvulos.

O item 13 questionou “Como os genes parentais são transferidos para os descendentes?” Somente o aluno A27 e os alunos B7 e B14 acertaram a questão, pois declararam e justificaram corretamente que ambos os cromossomos sexuais e somáticos parentais são responsáveis pela transferência dos genes aos descendentes.

Incorretamente, 41% dos alunos do GC (A4, A5, A8, A11, A12, A13, A16, A20, A23, A28, A33) e 69% do GI (B3, B8, B10, B11, B12, B13, B15, B17, B29, B20, B21, B23, B24, B26, B27, B28) declararam que os genes parentais são transferidos para os descendentes somente pelos cromossomos sexuais paternos e maternos.

6.6.3 Questões acerca do entendimento das relações entre gene, cromossomo e DNA

O item 1 questionou “Onde os cromossomos são encontrados na célula?”. Esta questão foi respondida e justificada corretamente por somente 11% dos alunos do GC (A1, A5, A13) e por 17% do GI (B8, B12, B18, B29). Ambos declararam que os filamentos de cromatina, que se condensam na forma de cromossomos, são encontrados no núcleo.

Alternadamente, 44% do GC (A4, A7, A11, A12, A16, A18, A24, A28, A30, A31, A32, A33) e 61% do GI (B1, B3, B7, B11, B13, B15, B17, B20, B21, B23, B25, B26, B27, B28) afirmaram que os cromossomos são encontrados no DNA. Cerca de 33% do GC (A8, A15, A17, A19, A22, A23, A25, A29, A34) e 22% do GI (B5, B9, B10, B14, B24) acreditam que os cromossomos estão localizados nos genes.

Nesta questão, também foram observadas nas justificativas algumas concepções equivocadas da relação entre DNA-gene-cromossomos, por exemplo, o

DNA é feito de cromossomos (A11, A12, A16, A24, B3, B13, B15, B17, B23, B26, B27).

Na questão 4, aproximadamente, 22% do GC (A4, A11, A23, A28, A31, A32) e 35% do GI (B1, B12, B14, B15, B20, B23, B25, B27) acertaram, ou seja, responderam que é incorreto afirmar que os cromossomos sexuais estão presentes apenas em células sexuais, mas sim em todas as células.

Equivocadamente, cerca de 26% do GC (A5, A7, A13, A16, A22, A24, A33) e 17% do GI (B3, B8, B11, B17) apontaram como incorreta a afirmativa “Há uma grande quantidade de genes localizados num cromossomo”. Além disso, cerca de 22% do GC (A2, A8, A12, A18, A30, A34) e 35% do GI (B5, B9, B13, B18, B21, B24, B26, B28) apontaram como incorreta a questão “Há DNA na estrutura do cromossomo”.

A questão 10 teve por objetivo apontar qual (is) das seguintes afirmações são corretas:

- I – Os genes estão localizados nos cromossomos
- II – Os genes são feitos de DNA
- III – Todas as células somáticas têm os mesmos genes.

Somente 7% do GC (A24, A27) e 13% do GI (B14, B21, B27) apontaram as três frases como corretas, justificando corretamente que “Os genes, que são compostos de DNA, estão localizados nos cromossomos, e são os mesmos em todas as células somáticas”. Mesmo assim, curiosamente, cerca de 37% dos alunos do GC (A4, A13, A16, A20, A23, A25, A28, A29, A31, A33) e 22% do GI (B5, B7, B24, B26, B29) apontaram a justificativa correta que engloba as três frases.

6.6.4 Questões envolvendo o entendimento das relações entre divisões celulares e herança genética

No item 6, somente 26% dos participantes de ambos os grupos (A1, A4, A15, A16, A22, A24, A32, B5, B7, B10, B13, B15, B29) declararam corretamente que uma célula nervosa apresenta o dobro de cromossomos de uma célula sexual. Erroneamente, 30% dos alunos, de ambas as turmas (A8, A13, A19, A18, A25, A28, A30, A33, B9, B11, B14, B20, B21, B25, B28) acreditam que 8 é o número de cromossomos de uma célula nervosa de um organismo cujo óvulo apresenta 16 cromossomos. Destes, a maioria apresentou uma justificativa bastante confusa, “As

células sexuais sofrem meiose e o número de cromossomos é reduzido pela metade. Devido a isso, uma célula nervosa transporta 8 cromossomos”.

Para o item 9, “Qual das seguintes poderia ser uma célula do ser humano com $22 + X$?”, somente o aluno A4 do GC respondeu corretamente, afirmando se tratar de um espermatozoide, e declarando como justificativa que esta condição é encontrada somente em uma célula sexual (gameta) de um homem ou mulher.

Erroneamente, 52% dos alunos do GC (A1, A5, A8, A11, A12, A19, A16, A22, A23, A27, A28, A30, A31, A34) 43% do GI (B1, B11, B12, B13, B15, B29, B18, B20, B23, B27) responderam que esta condição é encontrada em uma célula somática da mulher, sendo que a maioria justificou que $22 + X$ pode ser encontrado numa célula somática de uma mulher. Além disso, 41% dos alunos do GC (A2, A7, A13, A17, A18, A20, A24, A25, A29, A32, A33) e 56% dos alunos do GI (B3, B5, B7, B8, B9, B10, B14, B17, B21, B24, B25, B26, B28) responderam que esta condição é encontrada em um zigoto, que segundo a maioria, apresenta 23 cromossomos.

O item 11 questionou “O número de cromossomos é o mesmo em todas as células somáticas de um indivíduo. Qual dos seguintes processos é responsável por esta condição?”. Em torno de 26% do GC (A13, A19, A15, A23, A25, A27, A28) e 22% do GI (B9, B15, B18, B21, B27) responderam corretamente que a mitose é responsável por manter o mesmo número de cromossomos em todas as células somáticas de um indivíduo, e produz células somáticas com genes idênticos.

Contudo, 44% do GC (A1, A2, A7, A11, A12, A16, A18, A20, A31, A32, A33, A34) e 61% do GI (B3, B7, B8, B10, B12, B11, B13, B14, B29, B17, B23, B24, B25, B28) declararam que a meiose é responsável por manter o mesmo número de cromossomos em todas as células somáticas do indivíduo. Como justificativa, estes alunos declararam, equivocadamente, que através da meiose, o número de cromossomos das células sexuais (n) é dobrado para fazer um indivíduo com $2n$ cromossomos (A1, A7, A16, A18, A20, A34, B3, B8, B10, B13, B14, B17, B23, B28) e na meiose, o número de cromossomos é mantido constante (A2, A11, A12, A31, A33, B7, B11, B12, B29, B24, B25).

O item 12 foi respondido e justificado corretamente por somente 7% do GC (A19, A30) e 30% do GI (B1, B9, B11, B15, B20, B21, B25). Nesta, o correto é que as células sexuais são formadas por meiose, se unem para formar o zigoto, que se desenvolve por mitose.

Nesta questão, observaram-se equívocos importantes, os mais frequentes como “os espermatozoides e os óvulos sofrem mitose” (A2, A4, A7, A11, A16, A18, A20, A24, A25, A27, B8, B12, B17, B29), “(...) um zigoto reduz o seu número de cromossomos pela metade através do processo de meiose” (A1, A12, A13, A20, A22, A31, A32, B10, B12, B13, B18, B24, B26, B28).

Considerando o resultado das questões referentes ao conhecimento de gene, percebeu-se que a maioria dos participantes não compreendeu que todas as células somáticas apresentam os mesmos genes. As diversas concepções errôneas observadas são compatíveis com os dados encontrados na literatura, por exemplo, de que um gene que determina uma característica (por ex. cor dos olhos) é encontrado somente no órgão, tecido ou célula com essa característica.

Como visto em estudos anteriores, os estudantes parecem acreditar que cada célula contém somente os genes necessários para o seu funcionamento (KILIÇ *et al.*, 2016, PAIVA; MARTINS, 2005). Como afirma Smith e Knight (2012), os alunos tendem a responder que os “genes presentes nos olhos contribuem somente para as características dos olhos”.

Mesmo após a intervenção, os resultados revelaram problemas no entendimento do conceito de cromossomo. A maioria dos alunos, de ambos os grupos, não entendeu que todas as células do indivíduo apresentam todos os cromossomos (autossomos e sexuais) cujos genes determinam suas características hereditárias.

A minoria dos alunos, de ambos os grupos, acredita que os cromossomos sexuais estão presentes em todas as células. No entanto, neste parâmetro, houve uma melhora significativa de alguns alunos do GI em relação ao período anterior a intervenção, ou seja, na avaliação dos subsunçores.

Observou-se que alguns alunos do GI (alunos B1, B12, B14, B15, B20, B23, B25 e B27) que na avaliação dos subsunçores declararam que desconheciam a existência de cromossomos sexuais em células da pele humana, que os cromossomos sexuais se restringiam apenas às células sexuais ou atribuíram respostas com pouco sentido como “Sim, os cromossomos são encontrados no ser humano”, responderam corretamente que os cromossomos sexuais estão presentes em todas as células.

Recentemente, Vlckowa *et al.* (2016) afirmaram que é uma crença comum entre estudantes do ensino médio a de que os cromossomos sexuais são encontrados

somente em gametas. No estudo de Kiliç *et al.* (2016), percebeu-se também que a minoria dos estudantes turcos entende que os cromossomos sexuais estão presentes em todas as células.

No estudo de Temp (2014), cerca de 77% dos estudantes não concordam com a presença de cromossomos sexuais em todas as células. Segundo os autores, para a maioria dos estudantes, os diferentes tipos celulares apresentam somente os cromossomos necessários para o desenvolvimento de suas funções específicas. Os autores afirmam ainda que, mesmo tendo estudado genética no ensino médio, os alunos ainda não compreendem que todas as células somáticas apresentam o mesmo número de cromossomos, sendo 44 autossomos e dois sexuais.

Em geral, os alunos tendem a acreditar que as características hereditárias são determinadas apenas por genes presentes nos cromossomos sexuais. E mais, a maioria dos alunos não entende que os gametas carregam ambos os cromossomos autossomos e sexuais, cujos genes são responsáveis pela transferência da informação genética parental para os descendentes.

Estes equívocos já foram observados em um estudo anterior. Kiliç *et al.* (2016) relataram que somente 28% dos estudantes ingleses e 20% dos estudantes turcos acreditam que os gametas carregam ambos os cromossomos autossomos e sexuais. Os pesquisadores concluem que, para estes estudantes, o sexo de um indivíduo é determinado somente por genes presentes nos cromossomos sexuais encontrados somente em gametas.

Os resultados deste estudo também corroboram com estudos anteriores, como o de Kiliç *et al.* (2016), que relatam dificuldade dos alunos em compreender questões relativas ao número e comportamento dos cromossomos. Segundo Newman *et al.* (2012), questões como a estrutura e o comportamento cromossômico são tópicos notoriamente difíceis para os alunos compreenderem, causando lacunas na compreensão dos processos mais complexos envolvendo cromossomos e herança. Além disso, o entendimento do processo de meiose requer o conhecimento prévio da estrutura e função dos cromossomos.

Para melhorar a compreensão de tópicos relacionados ao fluxo de informações genéticas, Newman *et al.* (2012) sugerem que os professores usem estratégias didáticas e atividades que levem os alunos a estabelecer conexões entre estrutura cromossômica e processos celulares.

Nas palavras de Temp *et al.* (2011)

O conceito de cromossomo, localização e suas funções precisam ser bem compreendidos, pois estão relacionados a outras definições como genes, cromossomos homólogos, hereditariedade, cariótipo, identificação do sexo, presença de síndromes entre outros. Para muitos alunos, genes e cromossomos se referem às mesmas estruturas presentes no núcleo celular (TEMP *et al.* 2011, p.8-9).

O número e estrutura cromossômica foram estudados durante a revisão, assim como durante anos anteriores, na disciplina de Biologia. Contudo, observou-se que somente os alunos A1, A4, A15, A16, A22, A24, A32, B5, B7, B10, B13, B15, B29 compreenderam que as células somáticas de um organismo apresentam o dobro de cromossomos das células gaméticas. Consequentemente, acredita-se que a maioria dos alunos não sabe conceituar e diferenciar células haploides (n) e diploides ($2n$), gaméticas (ou sexuais) e somáticas, como são formadas e o número de cromossomos que apresentam, nem que o número de cromossomos de um organismo é igual à soma de cromossomos sexuais e autossomos.

Lewis e Wood-Robinson (2000) afirmam que poucos alunos entendem a diferença entre células somáticas e sexuais. No estudo de Kiliç *et al.* (2016), ainda que a maioria dos estudantes ingleses e turcos compreenda que uma célula somática apresenta o dobro de cromossomos de uma célula gamética, uma quantia significativa de estudantes ingleses ainda pensa que as células somáticas são haploides (n).

A literatura mostra que os estudantes tendem a confundir o significado e ploidia das células somáticas e gaméticas. Para Temp *et al.* (2014), o entendimento da diferença entre células somáticas e gaméticas requer o entendimento de diversos conceitos prévios como: número cromossômico, meiose, fecundação, identificação de síndromes, diferença entre mutações herdáveis ou não e análise de cariótipo.

Os resultados também mostraram que a maioria dos alunos não sabe determinar a fórmula cariotípica dos indivíduos, apresentando concepções equivocadas, como 64 é o número de cromossomos de um organismo cuja fórmula é $2n = 30 + XY$. No estudo de Kiliç *et al.* (2016), os pesquisadores concluíram que os estudantes turcos são mais hábeis do que os ingleses com fórmulas cariotípicas, pois a expressão do número cromossômico através de fórmulas é mais comum no contexto educacional turco.

Com exceção dos alunos A1, A5, A13, B8, B12, B18 e B29, a maioria dos alunos desconhece que os cromossomos estão localizados no núcleo celular. Isto revela sérios problemas de conhecimento básico da morfologia celular eucariótica,

abordada nos anos iniciais do ensino médio. É claro que em procariotos os cromossomos são encontrados no citoplasma, porém esta opção não se encontrava no quadro de respostas.

O estudo de Braga *et al.* (2009) também constatou que uma minoria dos alunos reconhece o núcleo com uma estrutura celular e localizaram os cromossomos em seu interior. Este fator dificulta o aprendizado significativo do processo de divisão celular, que implica, necessariamente, o conhecimento do núcleo e cromossomos.

O fato de desconhecer o conceito de gene e cromossomo enquanto estrutura e função, também implica no desconhecimento das relações entre DNA-gene-cromossomo. Pode-se dizer seguramente que a aprendizagem significativa desta relação não aconteceu com a maioria os participantes deste estudo.

No início, quando subsunçores foram avaliados em questões abertas, alguns alunos declararam que desconheciam genes e cromossomos, confundiram material genético com célula e apresentaram concepções equivocadas sobre conceitos evolutivos trabalhados no bimestre anterior.

Nos resultados do teste, percebeu-se que muitos alunos confundem os conceitos de gene e cromossomo, bem como as relações entre eles, declarando que os cromossomos estão localizados e/ou são encontrados no DNA, que o DNA é constituído de cromossomos e que os genes são feitos de cromossomos.

Diversos estudos mostram que os estudantes têm dificuldade em compreender o significado e as relações entre DNA-gene-cromossomo, bem como a finalidade das divisões celulares por mitose e meiose (SCHEID; FERRARI, 2006).

Em um estudo com estudantes ingleses e galeses, Lewis e Wood-Robinson (2000) encontrou uma má compreensão de como a informação genética é transferida e uma falta de conhecimento básico sobre as estruturas envolvidas (gene, cromossomo, e divisão celular). A maioria dos alunos não entende os processos e propósitos da divisão celular, bem como da importância desta para a continuidade da informação genética.

No estudo de Kiliç *et al.* (2016), as questões envolvendo as relações entre gene, cromossomo e DNA também geraram dificuldades, especialmente entre os estudantes turcos. Nestes, também apareceram concepções errôneas como, o DNA é feito de cromossomos e os cromossomos formam o DNA. Os autores sugerem uma possível razão para estes resultados, possivelmente porque são conceitos ensinados sob diferentes tópicos no currículo, ensinados sem uma correlação, ou seja, o

conteúdo é apresentado de forma fragmentada, algo já comentado nesta tese. Isto suporta a ideia que muitos alunos não compreendem precisamente o que é gene, DNA, cromossomo enquanto estrutura e inter-relação, que são conceitos fundamentais de genética.

Temp *et al.* (2014) observaram que estudantes universitários calouros apresentam concepções errôneas com relação a temas, como a relação genes-cromossomos-DNA; diferença entre célula somática e célula gamética. No estudo de Temp *et al.* (2014), por exemplo, o número de estudantes que apresenta concepção errônea acerca da relação gene-cromossomo-DNA ultrapassou os 67%, e segundo os autores, reconhecer a diferença entre estes conceitos serve de base para compreensão da genética e funcionamento celular.

O conhecimento do núcleo celular e cromossomos é um subsunçor importante para o aprendizado das divisões celulares (mitose e meiose). Neste estudo, o desconhecimento do ciclo celular (mitose e meiose), e dos processos nele envolvidos, foi evidente desde todo o processo de intervenção.

O ciclo celular foi abordado no primeiro ano do ensino médio e na breve revisão de conteúdos que foi realizada neste programa. No entanto, observando os dados da intervenção, e os resultados de ambos os testes, percebeu-se que os alunos, de ambos os grupos, não aprenderam significativamente este conteúdo. Nas palavras de Braga *et al.* (2009).

A abordagem da divisão celular tem como pré-requisito uma compreensão clara das estruturas que caracterizam o núcleo das células eucariontes e envolve a compreensão de muitos conceitos que, devido ao seu caráter abstrato, são motivo de angústia para muitos alunos. Alguns conceitos como genoma e gene não são caracterizados da mesma forma pelos diferentes livros didáticos e tampouco encontram um consenso entre os professores da área (BRAGA *et al.*, 2009, p.4)

O estudo de Fabrício *et al.* (2006) demonstrou que somente a minoria dos estudantes do Ensino Médio (cerca de 28% dos alunos) sabe que a meiose origina células haploides a partir de células diploides. Neste estudo, cerca de 33% dos alunos declararam que a mitose origina células haploides. O restante dos alunos não respondeu ou mencionaram respostas sem sentido. Entretanto, os resultados foram ainda piores em estudantes da Graduação em Ciências Biológicas: cerca de 59,7% erraram a questão, e o restante não respondeu ou atribuiu respostas consideradas pelos autores como absurdas e sem sentido.

A divisão celular é um tema que serve de base tanto para a genética quanto para a biologia molecular e temas como reprodução, crescimento, desenvolvimento (DIKMENLI, 2009).

Inicialmente, durante a avaliação de subsunçores, pode-se perceber que os alunos desconheciam o conceito “interfase”. Neste estudo, especificamente nas questões sobre as relações entre divisão celular e herança, observou-se que o desempenho dos alunos que passaram pela intervenção neurocientífica foi levemente superior aos alunos que não receberam a intervenção. Contudo, o desempenho nestas questões foi bastante limitado, comparado aos resultados obtidos por Kiliç *et al.* (2016), que utilizaram o mesmo teste, com estudantes ingleses e turcos.

Alguns equívocos importantes foram observados nos resultados deste estudo. Observou-se que a maioria dos alunos, de ambas as turmas, acredita que a meiose é responsável por manter o mesmo número de cromossomos em todas as células somáticas do indivíduo. Além disso, alunos declararam que a meiose produz células diploides, que mantem constante o número de cromossomos, os gametas sofrem mitose, o zigoto reduz o seu número de cromossomos pela metade através da meiose e o zigoto sofre meiose para formar as células sexuais da prole.

Lewis e Wood-Robinson (2000) e Kiliç *et al.* (2016) também observaram que os estudantes confundem em quais células ocorrem a mitose e meiose. No estudo de Kiliç *et al.* (2016), alguns estudantes declararam que se as células somáticas não sofressem mitose, o número de cromossomos seria dobrado, o zigoto sofre meiose para reduzir seu número de cromossomos e as células sexuais formam um zigoto pela meiose.

Enfim, Kiliç e Sağlam (2009) enumeram algumas das crenças errôneas mais comuns entre alunos do ensino médio, muitas delas, observadas neste estudo:

- Somente células com a mesma estrutura ou da mesma parte do corpo contêm a mesma informação genética.
- Cada célula do corpo carrega informações genéticas diferentes de acordo com sua função.
- A informação genética só é encontrada em gametas.
- A informação genética está relacionada aos cromossomos X e Y do espermatozoide.

- Os gametas carregam ambos os membros dos pares de cromossomos encontrados nas células somáticas parentais.
- Os espermatozoides carregam os genes responsáveis pela metade das características encontradas na prole.
- O gene e o alelo são diferentes, ou os alelos são parte do gene.
- Um cromossomo é um pedaço de DNA.
- Todos os cromossomos de uma pessoa possuem a mesma informação genética.
- Os cromossomos sexuais só existem em gametas.

Imediatamente, após responder o Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética (KILIÇ; SAGLAM, 2009), os alunos responderam o Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética (TSUI; TREAGUST, 2010).

Os itens do “Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética” (TSUI; TREAGUST, 2010), exige diferentes graus de raciocínio genético para resolver questões envolvendo genética clássica e molecular. Na metodologia deste trabalho, estão descritos com detalhes os tipos de raciocínio requeridos neste teste. Os resultados estão apresentados na tabela 6, e descritos com detalhes a seguir.

Tabela 6 – Resultados do Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética de Tsui e Treagust (2010).

Item	Turma A		Turma B	
	(%) Acertos	Alunos que acertaram	(%) Acertos	Alunos que acertaram
1	73	A1, A5, A7, A8, A11, A12, A13, A15, A17, A19, A22, A23, A25, A29, A30, A31, A32, A33, A34	59	B3, B8, B10, B13, B14, B20, B21, B23, B24, B25, B26, B27, B28
2	35	A1, A5, A7, A11, A12, A23, A25, A30, A33	36	B1, B3, B10, B14, B15, B21, B23, B27
3	8	A30, A34	14	B10, B15, B21
4	4	A5	0	---
5	8	A13 e A25	0	---
6	46	A2, A4, A5, A7, A15, A16, A19, A22, A23, A24, A27, A32	45	B8, B10, B12, B14, B15, B29, B20, B21, B25, B28
7	11	A13, A16, A28	9	B21 e B27
8	42	A1, A5, A7, A11, A12, A16, A22, A23, A27, A28, A30	54	B1, B3, B8, B10, B12, B13, B15, B21, B24, B25, B27, B28
9	15	A1, A2, A16, A27	32	B8, B12, B17, B18, B21, B23, B24
10	4	A5	14	B7, B15, B21
11	0	---	0	---

12	15	A7, A13, A22, A29	32	B1, B12, B15, B18, B23, B25, B29
Media (%)	22		25	

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

6.6.5 Questão de Raciocínio Genético Tipo I (item 1)

O item 1 é considerado o mais fácil do teste. Envolve herança genética monogênica, mapeamento genótipo-para-fenótipo (causa-para-efeito), dentro de uma mesma geração (TSUI; TREAGUST, 2010).

Este item questionou se uma pessoa com o genótipo “Ll” poderia apresentar o cabelo cacheado, dado que a letra “L” representa o alelo dominante que determina a presença desta característica. Em torno de 73% dos alunos do GC (A1, A5, A7, A8, A11, A12, A13, A15, A17, A19, A22, A23, A25, A29, A30, A31, A32, A33, A34) e 59% do GI (B3, B8, B10, B13, B14, B20, B21, B23, B24, B25, B26, B27, B28) concordaram com a afirmação e justificaram corretamente que o alelo dominante L é expresso em uma condição Ll.

6.6.6 Questões de Raciocínio Genético Tipo II (itens 6 e 11)

As questões 6 e 11 são de raciocínio genético tipo II. Também envolvem a herança genética monogênica, mapeamento genótipo-para-fenótipo (causa-para-efeito), porém entre gerações (TSUI; TREAGUST, 2010).

O item 6 tinha como enunciado “Em camundongos, o gene **b** que determina a pelagem branca é recessivo em relação ao gene **B** que condiciona a pelagem marrom. Um camundongo com genótipo **Bb** cruzou com uma fêmea com o genótipo **bb** que, em seguida, deu à luz a uma ninhada de 12 camundongos. Quantos camundongos brancos são esperados?”. Em torno de 46% dos alunos do GC (A2, A4, A5, A7, A15, A16, A19, A22, A23, A24, A27, A32) e 45% do GI (B8, B10, B12, B14, B15, B29, B20, B21, B25, B28) responderam corretamente à questão, ou seja, declararam que são esperados 6 animais de pelagem branca na ninhada, pois a metade dos espermatozoides e todos os óvulos parentais carregam o gene **b**.

Esta questão também envolve um conhecimento mais sólido acerca da formação de gametas. Parece que a maioria dos alunos não aprendeu que tipo de

gametas determinados genótipos produzem, algo que relaciona divisão celular com formação de gametas. Situação similar foi observada no estudo de Fabrício *et al.* (2006) cuja maioria dos alunos do Ensino Médio e Superior (Licenciandos em Biologia) não sabe que tipo de gametas determinados genótipos produzem.

No estudo de Fabrício *et al.* (2006), quando questionados sobre quais gametas são formados pelo genótipo Aa, aproximadamente 30,9% dos alunos do Ensino Médio e 11,9% dos alunos do Ensino Superior tiveram êxito na questão. Os autores afirmam que 70% é um percentual elevado de erros para ambos, mas tratando-se do ensino superior, os resultados são inadmissíveis.

O item 11 indagou o seguinte: “Alguns cães latem quando estão caçando e outros ficam calados, por isso são chamados de rastreadores silenciosos. Latir é uma característica dominante (representada pelo gene **B**) em relação a não latir (gene **b**). Um caçador é dono de um cão latidor, e quer usá-lo para fins de reprodução. Contudo, ele precisa ter certeza de que seu cão apresenta o genótipo **BB**. Qual seria o genótipo da fêmea que ele deveria cruzar com este cão?”.

Nenhum aluno respondeu corretamente o item 11. Nesta questão, entre as opções disponíveis, a correta seria a de que o caçador deveria cruzar seu cão latidor (genótipo **B_**) com uma fêmea com genótipo homocigoto recessivo (**bb**), pois se algum rastreador silencioso (genótipo **bb**) aparecer na prole, provavelmente seu cão apresenta o genótipo **Bb** e não **BB**, como ele esperava.

Curiosamente, apesar de estar classificado como raciocínio genético para iniciantes, o item 11 também gerou bastante dificuldade para a maioria dos alunos australianos, e apenas 28,6% responderam corretamente (TSUI; TREAGUST, 2010).

6.6.7 Questões de Raciocínio Genético Tipo III (itens 2 e 8)

As questões de raciocínio genético tipo III também envolvem a herança genética monogênica. Contudo, exigem um raciocínio genético mais acurado para o mapeamento fenótipo-para-genótipo (efeito-para-causa), na mesma geração (TSUI; TREAGUST, 2010).

No item 2, dado que o alelo H determina a doença de Huntington, perguntou-se qual seria o possível genótipo de uma pessoa que apresenta esta doença. Cerca de 35% dos alunos do GC (A1, A5, A7, A11, A12, A23, A25, A30, A33) e 36% do GI (B1, B3, B10, B14, B15, B21, B23, B27) acertaram, pois declararam que os genótipos

HH ou Hh determinam a doença e justificaram que o alelo dominante H é sempre expresso para ocasionar a doença de Huntington.

Os grupos apresentaram um desempenho igual, porém significativamente inferior aos estudantes australianos. Nesta questão, todos os australianos acertaram (TSUI; TREAGUST, 2010).

O item 8 tinha o seguinte enunciado: “De acordo com o Laboratório de Triagem Estadual Australiano, cerca de um a cada 2.500 recém-nascidos na Austrália apresenta fibrose cística, uma doença genética ocasionada por um gene recessivo no cromossomo sete. Os sintomas incluem problemas respiratórios, desordens digestivas e morte precoce. Qual dos seguintes genótipos indicaria que um bebê sofre de fibrose cística?”. Em torno de 42% dos alunos do GC (A1, A5, A7, A11, A12, A16, A22, A23, A27, A28, A30) e 54% do GI (B1, B3, B8, B10, B12, B13, B15, B21, B24, B25, B27, B28) acertaram a questão, ou seja, que o genótipo "cc" produz a doença, por isso o bebê precisa ter duas cópias de "c" para esta característica recessiva. Descobrir genótipo, causa, dado fenótipo.

Esta questão apresentou grande similaridade com uma questão utilizada por Fabrício *et al.* (2006). Estes pesquisadores indagaram qual seria o possível genótipo de uma pessoa que não apresenta sudorese excessiva, uma característica determinada por um alelo dominante S. Os pesquisadores verificaram que somente 21% dos alunos do Ensino Médio e 51% dos Licenciados em Biologia responderam corretamente ser uma característica recessiva. Nesta, cerca de 49% dos licenciandos erraram ou nem sequer responderam.

6.6.8 Questões de Raciocínio Genético Tipo IV (itens 3 e 9)

As questões de raciocínio genético tipo IV envolvem a herança genética monogênica, mapeamento fenótipo-para-genótipo (efeito-para-causa), entre gerações. Nestas, os estudantes interpretaram heredogramas (TSUI; TREAGUST, 2010).

Segundo Tsui e Treagust (2010), os itens deste grupo são mais difíceis que os anteriores (itens I-III), porque os heredogramas requerem raciocínio genético entre gerações, associados a um conhecimento de probabilidade para determinar os possíveis genótipos a partir dos fenótipos apresentados.

O item 3 foi respondido corretamente por apenas 8% dos alunos do GC (A30, A34) e 14% e do GI (B10, B15, B21), os quais declararam que o heredograma representa uma característica recessiva, pois um homem da terceira geração tem a característica, mas seus pais não a têm.

Uma característica recessiva pode estar presente em uma geração, desaparecer em gerações seguintes, e reaparecer em gerações subsequentes. No estudo de Fabrício *et al.* (2006), os autores questionaram “(...) como uma característica de minha tia-avó pode aparecer no meu neto?”. Estes pesquisadores verificaram que somente 13% dos alunos do Ensino Médio e 28% de Ensino Superior (Licenciandos em Biologia), afirmaram que se trata de uma determinada característica recessiva. Os autores citaram ainda que cerca de 48% dos licenciandos erraram a questão e 24% sequer responderam.

Já na questão 9, somente 15% dos alunos do GC (A1, A2, A16, A27) e 32% do GI (B8, B12, B17, B18, B21, B23, B24) responderam corretamente, que não é possível determinar o padrão de herança porque não há informação suficiente no heredograma.

6.6.9 Questões de Raciocínio Genético Tipo V (itens 7 e 12)

O item 7 buscou pesquisar a melhor descrição de gene a nível molecular ou submicroscópico. A melhor resposta e justificativa esperada, baseada na definição sofisticada de gene de Venville e Treagust (1998) citado por Tsui e Treagust (2010), afirma que um gene representa “uma sequência de informações que codifica uma proteína”, ou seja, apresenta as informações para a produção de uma característica.

Para esta resposta e justificativa, somente 11% dos alunos do GC e (A13, A16, A28) e 9% do GI (B21 e B27) responderam conforme o esperado pelo teste. Alternativamente, cerca de 65% dos alunos do GC (A1, A2, A5, A7, A11, A12, A17, A18, A22, A24, A25, A27, A29, A30, A32, A33, A34) e 45% GI (B1, B9, B10, B11, B17, B18, B20, B23, B25, B26) responderam que um gene é um segmento de uma molécula de DNA. Nesta questão, cerca de 19% dos alunos do GC (A1, A8, A15, A19, A24) e 36% dos alunos do GI (B3, B5, B11, B12, B13, B15, B26, B29) confundiram gene com uma proteína.

Tsui e Treagust (2010) consideram como correta a concepção informacional de gene, ou seja, a resposta “uma sequência de informações que codifica uma

proteína” e a justificativa “(...) o gene apresenta informações para a produção de uma característica”. Segundo estes pesquisadores, esta resposta é baseada na definição “sofisticada” de gene de Venville e Treagust (1998). Tsui e Treagust (2010) também consideram aceitável a resposta de que um gene é “um segmento de uma molécula de DNA”, sendo esta uma concepção estrutural de gene.

Em geral, a maioria dos livros didáticos de Biologia Celular e Molecular consideram o conceito molecular clássico, o conceito mendeliano, e a concepção informacional de gene²⁰. Em seu estudo, Schneider *et al.* (2011) observaram que a maioria dos professores de Licenciatura em Ciências Biológicas consideram o gene como unidade estrutural, funcional e informacional. Estas concepções são controversas na atualidade, frente às novas descobertas científicas de autores como Joaquim e El-Hani (2010), descritos no referencial teórico desta tese.

O item 12 exigiu dos alunos um raciocínio genético tipo V. Este item questionou se seria possível para Fred Sanger descobrir a sequência de bases de DNA do gene da insulina a partir do conhecimento da ordem de aminoácidos desta proteína.

Os resultados também mostraram que poucos alunos aprenderam significativamente a relação entre proteínas e aminoácidos. No programa de ensino, esta questão foi abordada na revisão de conceitos, por isso tiveram melhor desempenho. Em torno de 15% dos alunos do GC (A7, A13, A22, A29) e 32% do GI (B1, B12, B15, B18, B23, B25, B29) responderam corretamente, justificando que a sequência de bases de DNA do gene da insulina corresponde à sequência de aminoácidos da insulina.

Em estudo anterior, realizado por Carvalho *et al.* (2012) com 65 alunos de uma escola pública, os autores observaram que os alunos, mesmo tendo estudado assuntos relativos a proteínas, ainda apresentam concepções alternativas, mostrando falhas no processo de aprendizagem deste conteúdo.

Carvalho *et al.* (2012), ao questionar os alunos sobre o que entendiam por proteína, verificaram que a maioria dos alunos relacionam as proteínas ao bem-estar do indivíduo (fornecendo energia ou força). Poucos caracterizaram as proteínas

²⁰Na concepção estrutural e informacional, o gene apresenta e transmite informações, e na concepção mendeliana, o gene é considerado como unidade de herança ou hereditariedade, sem vínculo direto com uma estrutura física ou molecular, sem uma representação material (SCHNEIDER *et al.*, 2011).

estruturalmente, como sendo uma cadeia polipeptídica, formada por aminoácidos e 30% não souberam ou não responderam. Quando questionados sobre a função das proteínas, 7.7% dos alunos mencionaram que estas são responsáveis por construir o corpo e 10.8% citaram que as proteínas fornecem proteção ao organismo. Nenhum aluno abordou as funções estruturais (defesa, hormonais...), características genéticas, 1.5% responderam que estas transportam substâncias e 18,5% não responderam.

6.6.10 Questões de Raciocínio Genético Tipo VI (itens 4, 5 e 10)

O item 5 foi respondido por somente 8% dos alunos do GC (A13 e A25), que declararam corretamente que a Black Box representa um tipo de divisão celular que produz espermatozoides ou óvulos antes da fertilização.

Como já discutido, a maioria dos alunos não aprendeu significativamente o processo de mitose e meiose. Segundo Tsui e Treagust (2010), alunos que aprenderam significativamente o processo de meiose e sua relação com a fertilização responderiam corretamente esta questão, diferente daqueles que apenas memorizaram seus conceitos e processos envolvidos.

Neste estudo, em se referindo aos alunos que erraram, a maioria indicou que a Black Box representa um processo que ocorre após a fertilização. Segundo Tsui e Treagust (2010), isto indica que a maioria dos estudantes não entenderam os processos de meiose e fertilização e seus papéis na manutenção do número diploide constante de cromossomos em uma espécie de geração em geração (TSUI; TREAGUST, 2010).

O entendimento da meiose é fundamental para compreender a segregação dos fatores e a formação de gametas, processos e conceitos fundamentais para compreender as Leis de Mendel, abordadas em muitos itens deste teste. Vale lembrar que, mesmo sabendo resolver eficazmente os exercícios sobre as leis mendelianas utilizando o Quadro de Punnett ou métodos diversos, não significa que o aprendiz tenha uma compreensão significativa da meiose.

O item 4 foi respondido corretamente somente pelo aluno A5. Este aluno afirmou que se o zigoto de uma ervilha de jardim apresenta 7 pares de cromossomos, seus gametas devem conter 7 cromossomos, pois cada gameta (óvulo ou pólen) carrega um cromossomo de cada par. É uma questão que exige o conhecimento de

meiose, células haploides e diploides, que como visto anteriormente, não foram aprendidas significativamente pela maioria dos alunos.

O item 10 apresentou o seguinte enunciado: “Em um dos seus experimentos, Mendel cruzou plantas de ervilha altas com plantas de ervilha baixas, ou seja, plantas altas x plantas baixas. Na primeira geração (F1), nasceram somente plantas de ervilha altas. Nós sabemos agora que todas as plantas da geração F1 eram híbridas. Mendel então cruzou duas plantas da geração F1 e obteve 1064 plantas na segunda geração (F2). Qual das seguintes alternativas apresenta os fenótipos observados por Mendel na geração F2?”.

Esta questão também apresentou um índice baixo de acertos. Somente 4% dos alunos do GC (A5) e 14% do GI (B7, B15, B21) responderam corretamente, ou seja, que o resultado esperado para F2 seria de 787 plantas altas e 277 plantas baixas. Como justificativa, é a de que isso pode ser trabalhado no Quadro de Punnett, usando **B** para o gene dominante (estatura da planta) e **b** para o gene recessivo e então descobrir as proporções esperadas de BB ou Bb e bb.

Nesta questão, o desempenho de ambos os grupos ficou muito abaixo do esperado. Foi uma questão que exigiu dos alunos um pouco mais de conhecimento teórico da primeira lei e de raciocínio genético do que nas questões anteriores.

Neste exercício, os alunos precisavam apenas usar a regra de que, para todos os caracteres analisados por Mendel, a geração F2, resultante do cruzamento de híbridos, sempre apresentava uma proporção fenotípica de 3:1, ou seja, 75% plantas altas e 25% plantas baixas.

Além disso, mostrou que os alunos não aprenderam montar o quadro de Punnett. Segundo Borges *et al.* (2017), já citado anteriormente, um dos principais problemas dos alunos em aprender a primeira lei mendeliana reside na dificuldade de construir o Quadro de Punnett e realizar os cálculos matemáticos nele requeridos.

No presente estudo, assim como no estudo Borges *et al.* (2017), foi observada uma certa resistência na construção do diagrama, pois é algo novo que os alunos nunca viram. No presente estudo, por exemplo, os alunos mostraram preferência pelo método algébrico para resolver os exercícios, por isso a falta de interesse pelo Quadro de Punnett pode ter contribuído para a dificuldade apresentada na questão 10 do teste.

De forma geral, o Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética (KILIÇ; SAGLAM, 2009) exigiu dos alunos o conhecimento de conceitos fundamentais de

genética molecular (DNA, genes, cromossomos e suas inter-relações), bem como divisões celulares e herança genética.

Já o Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética (TSUI; TREAGUST, 2010), apesar de apresentar algumas questões de genética molecular, enfatizou a genética clássica, por exemplo, o conhecimento da relação entre genótipo e fenótipo, noções de dominância e recessividade, formação de gametas, interpretação do Quadro de Punnett e cálculos matemáticos básicos requeridos para resolver exercícios sobre a primeira lei mendeliana.

Em geral, os resultados mostraram que os alunos, de ambos os grupos, apresentaram desempenho muito parecido em ambos os testes. No Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética (KILIÇ; SAGLAM, 2009), a média do grupo GC foi 12% e do GI foi de 17%. No Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética (TSUI e TREAGUST, 2010), o GC apresentou 22% de acertos e o GI 25%.

O quadro a seguir mostra os resultados de cada aluno, em ambos os testes.

Quadro 11 – Resultados de cada aluno em ambos os testes de genética.

Número de acertos	Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética		Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética	
	GC	GI	GC	GI
8	-	-	-	B21
7	-	B15	-	-
6	-	B21	A5, A7	B15
5	A28	-	-	B10
4	A1, A4	B12	A1, A13, A16, A22, A23, A30	B8, B12, B23, B25, B27
3	A27, A32	B1, B18, B20, B25, B27, B29, B14	A11, A12, A25, A27	B1, B3, B14, B24, B28
2	A19, A11, A12, A13, A15, A22, A23, A24	B5, B7, B9, B11, B13	A2, A15, A19, A28, A29, A32, A33, A34	B13, B18, B20, B29
1	A5, A7, A16, A25, A20, A29, A30, A31, A33	B8, B10, B23	A4, A8, A17, A24, A31	B7, B17, B26
0	A2, A8, A17, A18, A34	B3, B17, B24, B26, B28	A18	B5, B9, B11

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

6.7 AVALIAÇÃO COGNITIVA

As variáveis cognitivas estão intimamente relacionadas com o desempenho ou nível de compreensão de conceitos de genética (KILIÇ; SAGLAM; 2014), por isso uma breve avaliação cognitiva foi realizada após os testes de conhecimento em

genética. Foram aplicados o Teste de Atenção D2 e uma Prova de Raciocínio Abstrato, com objetivo de contribuir para a análise dos dados obtidos.

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os grupos em nenhum parâmetro do Teste de Atenção D2. Contudo, ao consultar a tabela de resultados padronizados para a mesma idade e escolaridade da população brasileira (Quadro 12) (BRICKENKAMP, 2000), observou-se que a média dos resultados brutos e líquidos de ambos os grupos se encontra abaixo da média. A porcentagem de erros, ao contrário, encontra-se acima da média.

Tabela 7 – Resultados obtidos com ambos os grupos no teste de atenção D2.

Parâmetro	GRUPO CONTROLE			GRUPO INTERVENÇÃO		
	Pontos	%	Grau do %	Pontos	%	Grau do %
RB	383.6±71.62	25	AM, III	383.3±89.43	25	AM, III
TE	37.25±35.45	-	-	44.15±49.13	-	-
RL	346.3±55.10	20	AM, III	339.1±84.14	20	AM, III
E%	8.94±7.27	25	AM, III	11.29±10.31	10	AM, III

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Legenda:

RB = Resultado bruto.

TE = Total de erros.

RL = Resultado líquido

E% = Percentual de erros.

AM = Abaixo da média.

Quadro 12 – Médias referentes à atenção obtida no subgrupo de estudantes brasileiros da aplicação do Teste D2 – Atenção Concentrada.

E2. Estudantes 2º Grau						
E2	(15a 0m – 22a 11m)				N=377	
Percentil	RB		RL		E%	AO
1	0	260	0	242		
5	261	312	243	291		
10	313	340	292	317	11,9	27
20	341	373	318	348		
25	374	386	349	360	7,5	21
30	387	397	361	371		
40	398	418	372	391		
50	419	437	392	409	4,7	16
60	438	457	410	427		
70	458	477	428	446		
75	478	489	447	457	2,6	12
80	490	501	458	469		
90	502	535	470	501	1,4	9
95	536	563	502	527		
99	564	614	528	576		
M	438		409			
D.P	76		72			

Fonte: Brickenkamp (2000).

Ao observar a tabela 7, percebe-se que os resultados brutos, de ambas as turmas (percentil 25), indicam que a maioria dos alunos apresenta velocidade de execução abaixo da média em trabalhos que exigem atenção. O resultado líquido (percentil 25) indica uma atenção concentrada inferior à média. Além disso, ambas apresentaram o percentual de erros acima da média, o que indica pouca precisão em tarefas que exigem atenção e concentração.

No que tange aos Resultados Brutos (RB), somente 23% dos alunos do GI (B8, B9, B20, B27, B28, B29) e 22% do GC (A2, A3, A11, A13, A15, A31) atingiram a média esperada para a população brasileira. Cerca de 34% dos alunos do GI (B1, B2, B7, B10, B11, B14, B15, B23, B26) e 46% do GC (A1, A8, A10, A12, A18, A17, A20, A25, A26, A27, A29, A32, A34) ficaram abaixo da média, porém dentro do desvio padrão (438 ± 76). Em torno de 42% dos alunos do GI (B3, B4, B5, B6, B12, B13, B16, B18, B22, B24 e B25) e 32% do GC (A6, A7, A16, A22, A23, A24, A28, A30, A33) ficaram, significativamente, abaixo da média.

Os resultados líquidos (RL), em torno de 11% do GC (A3, A15, A25) e 15% do GI (B8, B20, B26, B27) estão acima da média. Cerca de 46% dos alunos do GC (A1, A2, A8, A11, A12, A13, A18, A20, A26, A29, A31, A32, A34) e 38% GI (B1, B2, B7, B9, B10, B14, B15, B29, B23, B28), ficaram abaixo da média, porém dentro do desvio padrão (409 ± 72). Aproximadamente 43% dos alunos GC (A6, A7, A10, A16, A17, A22, A23, A24, A27, A28, A30, A33) e 50% GI (B4, B3, B5, B6, B11, B12, B13, B16, B18, B22, B24, B25, B28) ficaram, significativamente, abaixo da média.

Então, como visto nos resultados, os alunos, de ambos os grupos, envolvidos nesta pesquisa, apresentaram atenção seletiva²¹ ou concentrada inferior à média, além de baixa velocidade na execução em tarefas que exigem atenção e pouca precisão em tarefas que exigem atenção e concentração. Desta forma, as dificuldades encontradas pelos alunos de ambos os grupos em aprender genética, também podem estar relacionadas à dificuldade de atenção.

Consultando indexadores de artigos nacionais e internacionais, percebe-se que há poucos estudos que aplicam o teste D2 em estudantes sem diagnóstico de alguma patologia. Em uma aplicação do teste D2 em adolescentes de ambos os sexos

²¹ Neste estudo, atenção concentrada e seletiva referem-se ao mesmo constructo. O Teste D2 de Atenção Concentrada é conhecido e nomeado como “Teste de Atenção Seletiva” em países como Alemanha e Estados Unidos, respectivamente (RUEDA; MONTEIRO, 2013).

e da mesma faixa etária, Barbosa *et al.* (2013), observaram resultados melhores que os apresentados neste estudo, em todos os parâmetros avaliados pelo teste.

Em estudo com estudantes com idades entre 9 a 15 anos, com ou sem hipótese de Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH), Lopes *et al.* (2010) observaram que estudantes com sintomas de TDAH apresentam diferença significativa no parâmetro que avalia a capacidade de atenção concentrada, ou seja, nos resultados líquidos (RL) do teste D2. Há também uma tendência de diferença estatística nos resultados brutos (RB), que avalia a rapidez em trabalhos que exigem atenção.

É importante ressaltar que a dispersão da atenção concentrada em crianças e adolescentes tem uma forte base neurobiológica. O estudo realizado por Dumontheil *et al.* (2010), que combinaram testes comportamentais e informações neuroanatomo-funcionais, demonstrou que crianças e adolescentes apresentam maiores chances de dispersão que adultos em tarefas que exigem atenção concentrada. Os pesquisadores verificaram que os adolescentes demonstraram menor capacidade que os adultos em selecionar, manipular e controlar seus pensamentos autogerados em tarefas cognitivas que apresentam distratores perceptivos.

Dumontheil *et al.* (2010) estudaram a estrutura cerebral e monitoraram a atividade neural de adolescentes e adultos através de um exame de fMRI. Estes pesquisadores observaram que o CPFRL de adolescentes apresenta uma quantidade maior de substância cinzenta associada a um maior nível de ativação neural. Segundo Dumontheil *et al.* (2010), estas diferenças anatômicas e fisiológicas podem explicar a maior facilidade de distração encontradas nos adolescentes que participaram do estudo.

O estudo de Dumontheil *et al.* (2010) foi comentado em uma matéria publicada no Jornal Britânico “The Guardian” em 2010. Neste, Dr. Iroise Dumontheil, afirmou para Hill (2010) que:

Nem sempre é fácil para os adolescentes prestarem atenção na aula sem deixar suas mentes vagarem, ou ignorar distrações de seus irmãos mais novos enquanto resolvem problemas de matemática. Não é culpa dos adolescentes se não podem se concentrar e são facilmente distraídos. Trata-se da estrutura de seus cérebros. Os adolescentes simplesmente não têm as mesmas capacidades mentais que um adulto. (HILL, 2010, p.1)

Dr.^a Sarah-Jayne Blakemore, que liderou o estudo de Dumontheil *et al.* (2010) também afirmou para Hill (2010, p.2) o seguinte: “Sabíamos que o córtex pré-frontal

de crianças pequenas funcionava de maneira caótica, porém não imaginávamos que isso continua até os 20 ou 30 anos de idade”.

Em síntese, o estudo de Dumontheil *et al.* (2010) mostra que o cérebro dos adolescentes ainda está em desenvolvimento, por isso estes não apresentam as mesmas capacidades cognitivas de adultos, como a atenção concentrada.

Como visto na revisão bibliográfica desta tese, a atenção é um processo neurobiológico essencial que serve de base para outras funções cognitivas, como memória e o raciocínio. Castelão e Amabis (2008) afirmam que muitos estudantes não aprendem genética pela ausência de subsunçores e dificuldades de raciocínio, exigidos pela disciplina de Biologia.

Na avaliação da capacidade de Raciocínio Abstrato, também não foram observadas diferenças estatísticas entre os grupos. Contudo, usando a tabela de resultados padronizados para a idade e escolaridade da população brasileira (ALMEIDA; PRIMI, 2015), percebeu-se que a capacidade de raciocínio abstrato da maioria dos alunos, de ambos os grupos, é considerada abaixo da média. Como pode ser observado na tabela 8, os valores médios para o Escore Padronizado Normalizado (EPN) de ambos os grupos desta pesquisa se encontram exatamente no limite inferior do desvio padrão da média populacional brasileira (EPN médio da população brasileira = 100, desvio padrão ± 15).

Tabela 8 – Estatísticas Descritivas obtidas com ambos os grupos no subteste de Raciocínio Abstrato do BPR-5.

Parâmetro	GRUPO CONTROLE			GRUPO INTERVENÇÃO		
	Pontos	EPN	%	Pontos	EPN	%
RA	14.0 \pm 3.6	85.8 \pm 12.8	22.6 \pm 24.8	13.9 \pm 3.6	85.1 \pm 10.6	20.7 \pm 18.7

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

Legenda:

RA = Raciocínio Abstrato

EPN = Escore Padronizado Normalizado

Somente os alunos A1, A17, A25, B22, B23 mostraram resultados dentro/acima da média EPN_{Médio} (100 pontos). Os alunos do GC (A3, A11, A12, A20, A23, A28, A32, A33) e do GI (B1, B2, B4, B5, B7, B10, B16, B18, B20, B27) apresentaram resultados dentro do desvio padrão, ou seja, EPN entre 85 a 99.

Os alunos do GC (A2, A7, A8, A10, A13, A18, A15, A16, A22, A24, A26, A27, A29, A30, A34) e do GI (B3, B6, B11, B12, B13, B14, B15, B29, B24, B25, B26, B28), apresentaram resultado abaixo do desvio padrão.

A baixa capacidade de raciocinar de forma abstrata encontrada na maioria dos participantes também contribui para explicar a dificuldade em aprender genética. Em um estudo anterior, Cavallo (1996) já havia apontado que a habilidade de raciocínio é o fator cognitivo mais importante para compreensão de problemas de genética.

Para Kiliç e Saglam (2014), o raciocínio está intimamente relacionado com o aprendizado de conceitos genética. Os pesquisadores afirmam que as habilidades de raciocínio formal, que requer pensamento abstrato, lógico e hipotético-dedutivo, são necessárias para o estabelecimento de relações entre conceitos abstratos de genética e as situações cotidianas (KILIÇ e SAGLAM, 2014).

Em seu estudo, Kiliç e Saglam (2014) observaram que a capacidade de raciocínio foi o elemento mais importante do entendimento dos alunos em relação aos conceitos fundamentais de genética, ou seja, aqueles alunos com altas habilidades de raciocínio formal tiveram altos escores no teste de genética, o mesmo utilizado neste estudo. Ao contrário disso, alunos com baixa capacidade de raciocínio formal obtiveram escores baixos no teste, pois não conseguiram relacionar os conceitos de genética entre si.

Baumgartl e Nascimento (2004) utilizaram o mesmo teste de RA empregado neste estudo, porém em um contexto organizacional. Estes pesquisadores observaram que ambos os trabalhadores com ensino médio completo e incompleto apresentaram desempenho dentro da média esperada, sendo assim, apresentaram resultados melhores que os obtidos no presente estudo.

Em um estudo com adolescentes do ensino médio de uma escola particular, Noronha *et al.* (2009) verificaram que os estudantes apresentaram resultados 42% melhores na prova de raciocínio abstrato que os apresentados neste estudo.

Como dito na revisão de literatura, o subteste de RA envolve tarefas de raciocínio analógico geométrico, que estão particularmente envolvidas com a inteligência fluída.

A inteligência fluída é uma habilidade importante para entender relações abstratas, sendo um pré-requisito para a aprendizagem de conteúdos novos, complexos e abstratos (DUMONTHEIL, 2014), como é o caso de conceitos de genética.

Primi *et al.* (2010) acrescentam que a inteligência fluída é um preditor importante do sucesso acadêmico em disciplinas complexas, por exemplo, a

matemática, cujo nível de abstração é similar ao requerido na aprendizagem de genética.

Preusse *et al.* (2011) utilizaram uma prova de raciocínio analógico geométrico bastante similar à empregada neste estudo. Estes pesquisadores observaram que estudantes com alta inteligência fluída apresentam maior precisão no teste de raciocínio que os estudantes com inteligência fluída média.

Em síntese, estudos de neuroimagem funcional demonstram que o cérebro, particularmente os lobos frontais, ainda estão em processo de maturação na adolescência e início da vida adulta. Assim, as funções ligadas ao córtex frontal, como a atenção seletiva, formas de raciocínio (abstrato, lógico entre outros), tomada de decisão, inibição da resposta, memória de trabalho, entre outras, ainda estão em desenvolvimento no adolescente (BLAKEMORE; CHOUDHURY, 2006).

Desta forma, os estudos neurocientíficos apontam que as habilidades cognitivas importantes para o entendimento de genética ainda estão em desenvolvimento na adolescência. Por isso, fatores de ordem neurobiológica também podem ser incluídos como uma das justificações plausíveis para as dificuldades para aprender genética encontradas neste e em outros estudos comentados nesta tese.

Dumontheil (2014) afirma que pesquisas futuras são necessárias para melhorar a compreensão acerca das bases neurais do raciocínio abstrato, esclarecendo, por exemplo, como tais funções ligadas ao córtex pré-frontal poderiam ser treinadas, com potenciais benefícios no domínio do ensino e educação.

Com os resultados da avaliação cognitiva é possível responder ao quarto objetivo específico desta tese: “Verificar a influência de aspectos cognitivos na aprendizagem de genética”. Foi observado que ambos os grupos não mostraram diferenças significativas nos testes que avaliaram a capacidade de atenção concentrada e raciocínio abstrato. Contudo, ambos os grupos apresentaram resultados inferiores à média populacional brasileira para a mesma idade e escolaridade. Desta forma, os déficits cognitivos encontrados na maioria dos alunos de ambos os grupos é um fator importante a ser considerado como preditor da dificuldade em aprender genética de forma significativa.

6.8. NOTAS E FREQUÊNCIA DOS ALUNOS NO 3º E 4º BIMESTRE

No final do período de intervenção, obteve-se os conceitos e frequência dos alunos no 3º e 4º bimestres. A tabela 9 apresenta com detalhes estes dados:

Tabela 9 – Média do desempenho e notas dos alunos no 3º e 4º bimestres.

Bimestre	GC		GI	
	Notas	Faltas	Notas	Frequência
3	89.00±11.92 ^a	0.97±1.73	72.62±14.40 ^a	0.96±0.99
4	86.71±10.66	3.03±2.07 ^b	83.79±9.51	1.36±1.61 ^b

Fonte: dados da pesquisa (2018)

Nota:

Os dados estão expressos como Média ± Desvio Padrão. As letras (a, b), acima dos números, indicam as diferenças estatísticas de $p < 0,05$, usando t test two-tailed, $n = 34-28$ alunos/grupo. A letra “a”, acima dos números, indica diferença significativa entre os grupos nos conceitos obtidos no 3º bimestre. A letra “b”, acima dos números, indica diferença significativa entre os grupos na média de faltas obtidas no 4º bimestre.

A tabela mostra que, no 4º bimestre, momento auge da intervenção, o grupo GI apresentou sua maior média conceitual do ano. Além disso, neste bimestre, verificou-se que o GI apresentou uma média conceitual muito próxima ao GC, e não mostrou diferenças estatísticas em relação a este (GC = 86.71±10.66 vs GI = 83.79±9.51, $p = 0.26$). Os alunos do GI também apresentaram maior frequência que os alunos do GC (GC = 3.03±2.07 vs GI = 1.36±1.61, $p = 0.0009$) no quarto bimestre.

A partir destes resultados, é possível responder ao quinto objetivo específico desta tese: “Relacionar os dados obtidos pelos instrumentos de coleta de dados no período pré-intervenção com os resultados obtidos nos testes de conhecimentos de genética aplicados no período pós-intervenção”.

Como dito anteriormente, os testes finais de conhecimento de genética realmente mostraram dificuldades em ambos os grupos para aprender o conteúdo de genética estudado. O desempenho dos alunos deste estudo foi significativamente inferior em relação aos alunos turcos e ingleses (Quadro 13) e australianos (Quadro 14), nos quais os testes foram aplicados anteriormente.

Quadro 13 – Desempenho de alunos turcos e ingleses no Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética.

Categorias	Item	% acertos	
		Turcos	Ingleses
Conceito de gene	2	23.4	48.2
	5	37.0	73.6
	7	31.1	43.0
	Média	30.50	54.93
Conceito de cromossomo	3	32.4	11.4
	8	20.5	50.3
	13	20.0	27.5
	Média	24.30	29.73
Relação entre gene, cromossomo e DNA	1	36.9	72.0
	4	31.4	56.5
	10	27.3	42.0
	Média	31.86	56.83
Relação entre divisões celulares e herança	6	56.5	74.1
	9	49.5	39.9
	11	55.5	70.5
	12	45.7	61.7
	Média	51.80	61.55

Fonte: Kiliç e Saglam (2016)

Quadro 14 – Desempenho de alunos australianos no Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética.

Item	Tipo de raciocínio	Alunos da 10 th		Alunos da 12 th	
		1 ^a Resposta (%)	Ambas (%)	1 ^a Resposta (%)	Ambas (%)
1	I	8.9	87.5	0.0	100
2	III	3.6	83.9	0.0	100
3	IV	16.1	58.9	7.1	78.6
4	VI	1.8	41.1	0.0	35.7
5	VI	5.4	16.1	0.0	42.9
6	II	0.0	93.9	14.3	85.7
7	V	6.1	12.1	7.1	28.6
8	III	-	-	7.1	85.7
9	IV	-	-	42.9	42.9
10	VI	12.5	41.1	7.1	64.3
11	II	-	-	42.9	28.6
12	V	-	-	7.1	78.6

Nota: As questões 8, 9, 11 e 12 não foram aplicadas aos alunos australianos da 10th.

Fonte: Tsui e Treagust (2010).

Assim como no presente estudo, os estudantes europeus e australianos experienciaram, em sua trajetória escolar, o conteúdo de genética avaliado nos testes. No entanto, para realizar uma comparação e interpretação dos resultados obtidos pelos alunos australianos, europeus e os desta pesquisa, é fundamental levar em

consideração alguns aspectos importantes relacionados ao contexto educacional dos países destes alunos.

De acordo com Tsui e Treagust (2010), os estudantes australianos, antes de responder ao “Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética”, tiveram aulas sobre o conteúdo avaliado e, também, puderam interagir com um software de computador denominado BioLógica. Este software permite a visualização dos genes e cromossomos nos gametas durante a meiose, a seleção dos gametas para a fertilização e a análise da descendência resultante em um heredograma, entre outros.

Na pesquisa de Kiliç *et al.* (2016) com estudantes turcos e ingleses, os pesquisadores relataram que as dificuldades inerentes ao processo de seleção dos sujeitos de sua pesquisa levaram a incluir uma amostra seletiva de alunos ingleses, que tiveram um ou dois anos adicionais de Ensino de Biologia e, voluntariamente, escolheram e foram admitidos em um curso acadêmico de Biologia. Estes fatores provavelmente geraram maior motivação, interesse e atitudes positivas dos estudantes ingleses pelo conteúdo de genética abordado no Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética (KILIÇ; SAGLAM, 2016).

Além disso, outra vantagem dos estudantes ingleses em relação aos turcos e aos estudantes desta pesquisa é que, conforme o Programa Nacional Curricular Inglês, o ensino de conteúdos relacionados à Genética, como herança e evolução, inicia-se no “Key Stage 3”, que compreende as 7^a a 9^a séries, que corresponde ao Ensino Fundamental II no Brasil. Adicionalmente, no currículo educacional Inglês, o conteúdo de Genética é apresentado relacionado a outros temas biológicos, como divisões e controle celular, o que facilita a AS (KILIÇ *et al.*, 2016).

Assim, o estudo de Kiliç *et al.* (2016) demonstra claramente que o nível de interesse, o tempo dedicado ao estudo e a importância de um determinado assunto para o futuro acadêmico e profissional do aprendiz está positivamente vinculado a sua motivação para aprender genética.

De forma geral, a significativa superioridade no desempenho de estudantes estrangeiros em relação aos participantes desta pesquisa tem relação com diversos fatores intrínsecos e extrínsecos, entre eles, pode-se citar: métodos mais eficientes de ensino de genética nesses países, o maior interesse dos alunos pelo conteúdo, a inserção do conteúdo de genética em períodos iniciais do Ensino Fundamental, além da crença da sociedade brasileira de que o conhecimento científico não deve ocupar o mesmo status que outros conhecimentos.

Enfim, o conhecimento limitado de genética básica da maioria dos alunos de ambas as turmas é um pequeno reflexo dos problemas no ensino-aprendizagem de genética no Brasil. É seguro afirmar que os resultados desta pesquisa se assemelham a vários outros estudos cujos resultados revelaram dificuldade em compreender conceitos de genética, seja em estudantes e egressos do Ensino Médio quanto em estudantes de diversos cursos de graduação na área biológica (CARVALHO *et al.*, 2012; LEWIS; WOOD-ROBINSON, 2000; SCHEID; FERRARI, 2006).

A falta de subsunçores de genética, precisamente conceitos e relações entre DNA-gene-cromossomo, a diferença entre células haploides e diploides, células somáticas e sexuais, divisão celular entre outros, trabalhados em anos anteriores e brevemente revisados neste estudo, exerceu grande influência durante a execução deste trabalho. As teorias mendelianas sobre a herança genética foram introduzidas sem um sólido conhecimento de diversos temas importantes da genética, citologia e reprodução.

Segundo Knippels *et al.* (2005), a falta de compreensão e desconexão entre o conhecimento de meiose, reprodução sexual e herança resulta em uma base conceitual pobre para a aprendizagem de genética. O tempo curto das aulas proporcionou uma pequena revisão insuficiente dos termos, assim uma significativa proporção de alunos concluiu o ensino médio sem o conhecimento de divisão celular, conhecimento do conceito de gene e cromossomos, das relações entre DNA-gene-cromossomo.

O conhecimento dos processos de divisão celular apresenta um caráter subsunçor para o aprendizado de outros conceitos em genética e biologia molecular. É preciso incorporar os diversos processos e conceitos envolvidos no ciclo celular mitótico e meiótico na estrutura cognitiva do aluno para que sirvam de ancoragem para o aprendizado significativo de novos conceitos (BRAGA *et al.*, 2009). Segundo Braga *et al.* (2009),

Conhecimentos diversos como a genética, a evolução, a diversidade dos seres vivos e a reprodução, estão entre os muitos conteúdos que de alguma forma buscam ancoragem na aprendizagem significativa dessa forma de divisão celular. Tal processo tem, no entanto, sua aprendizagem prejudicada pela fragmentação do conteúdo promovida, entre outros fatores, pela distribuição curricular dos conteúdos da Biologia ao longo dos três anos do Ensino Médio, pela forma descontextualizada com que ela é abordada nos livros didáticos e pela maneira inadequada que o professor possa ministrar suas aulas. A ação do professor, por sua vez, está diretamente ligada às metodologias utilizadas e ao tipo de discurso por ele proferido (BRAGA *et al.*, 2009, p.3).

Sem os subsunçores adequados, os alunos apresentaram dificuldades na aprendizagem de novos conceitos. Durante a intervenção e observando os resultados das questões do “Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética” de Tsui e Treagust (2010), foi possível perceber que a maioria dos alunos não aprendeu de forma significativa as leis mendelianas, mesmo sendo trabalhadas intensamente através de exercícios e recursos alternativos descritos anteriormente.

Foi difícil para a maioria dos alunos o aprendizado significativo da relação entre genótipo e fenótipo, os conceitos de dominância e recessividade, puro/híbrido, homocigoto/heterocigoto, formação de gametas, que são fundamentais para a compreensão da transmissão de caracteres hereditários. Além disso, a maioria não aprendeu a construir e interpretar o quadro de Punnett, e realizar os cálculos matemáticos básicos requeridos para resolver exercícios sobre a primeira lei mendeliana.

Fabrizio *et al.* (2006) também observaram uma significativa dificuldade em compreender a transmissão de caracteres hereditários regidos pelas leis mendelianas, tanto em alunos do Ensino Médio quanto do Ensino Superior (Licenciatura em Biologia). Segundo os referidos autores, este fato é bastante preocupante, pois estes licenciandos serão futuros professores de Biologia no Ensino Médio.

Fabrizio *et al.* (2006) ressaltam que os alunos decoram os conceitos para exames da escola e faculdade, e estes conceitos são logo esquecidos porque não encontram subsunçores na estrutura cognitiva para se ancorarem e consolidarem como conhecimento verdadeiro.

Mesmo com as dificuldades de aprendizado e cognição relatadas, pode-se afirmar com convicção que o PNE apresentou resultados positivos. Retomando os dados obtidos no período anterior à aplicação do programa, pôde-se observar que os alunos do GC apresentaram melhores conhecimentos prévios de genética, maior inclinação à aprendizagem significativa, maior nível de motivação intrínseca para a aprendizagem, maior interesse por conteúdos biológicos científicos, maiores conceitos na disciplina de Biologia e menor índice de faltas.

Contudo, de posse dos resultados totais dos testes finais de genética, pôde-se perceber que os alunos do GI apresentaram um desempenho levemente melhor que os alunos do GC. Nas questões 1, 2, 6 e 8 do “Instrumento Dupla-Camada para

o Diagnóstico de Genética”, que envolveram um nível de raciocínio genético I-III, as médias de ambos os grupos foram iguais (GC = 49% e GI = 48.5%), e significativamente melhores que os resultados totais. As questões de raciocínio genético I-III foram questões bastante trabalhadas durante a intervenção neurocientífica.

Destaca-se o desempenho e participação dos alunos B21, B15, B12 e B25, considerados alunos com baixo desempenho, que surpreenderam durante os testes (ver quadro 11).

Para saber a influência da motivação e do estilo de aprendizagem no desempenho final dos alunos, estabeleceu-se uma correlação entre os resultados dos testes de genética com os resultados dos subtestes de AS e AM e com a Escala de Avaliação da Motivação para Aprendizagem (EMAPRE), aplicados no período pré-intervenção.

No GC, a pontuação dos testes de genética com os resultados do subteste de aprendizagem significativa e mecânica apresentou uma correlação negativa e insignificante (AS: $r = -0.259$, $p = 0.2$; AM: $r = -0.188$, $p = 0.36$). No GI, ao contrário, pontuação dos testes de genética com ambos os subtestes de aprendizagem foi positiva, porém não significativa (AS: $r = 0.258$, $p = 0.26$; AM: $r = 0.241$, $p = 0.29$).

Contudo, ressalta-se que a média de pontos nos testes de genética dos alunos do GI com inclinação à aprendizagem significativa foi 35% maior do que a média de pontos dos alunos deste mesmo grupo, mas que apresentaram inclinação à aprendizagem mecânica (AS = 5.69 vs AM = 3.67 pontos). Já nos alunos do GC, a média da pontuação dos alunos com inclinação à aprendizagem mecânica foi levemente maior que a média da pontuação dos alunos com inclinação à aprendizagem significativa (AS = 4.43 vs AM = 4.21 pontos).

Ao analisar alguns casos individuais do GI, percebeu-se que a maioria dos alunos com resultados nos testes de genética acima da média do grupo, apresentaram orientação para a aprendizagem significativa. Os alunos B21, B15, B12, B25, B27, respectivamente, foram os alunos que acertaram o maior número de questões. Todos mostraram forte orientação para aprendizagem significativa, exceto o aluno B12, que apresentou inicialmente a maior tendência à aprendizagem mecânica de todos os participantes.

No estudo de Kiliç e Saglam (2014), os autores observaram uma correlação positiva entre a orientação para aprendizagem significativa e o nível de conhecimento

de conceitos básicos de genética, bem como uma correlação negativa entre o nível de conhecimento de conceitos básicos com a aprendizagem mecânica. Assim, enquanto uma orientação para o aprendizado significativo contribui para o entendimento de genética, a orientação para aprendizagem mecânica prejudica.

Em um estudo realizado por Cavallo e Schafer (1994), alunos orientados à aprendizagem significativa apresentam maior capacidade de aprender significativamente conceitos fundamentais de genética, como alguns tópicos biológicos da meiose, o quadro de Punnett e as relações entre os mesmos. Os autores também observaram que isso ocorreu independentemente da motivação dos alunos.

No quesito motivação, no grupo GC, a correlação entre a pontuação nos testes finais de genética e a motivação apresentou correlação positiva e não significativa com a meta-aprender ($r = 0.319$; $p = 0.137$); positiva e não significativa com a meta performance-aproximação ($r = 0.141$; $p = 0.522$), e positiva e não significativa com a meta performance-evitação ($r = 0.220$; $p = 0.312$).

Em relação ao GI, a correlação entre os resultados dos testes de genética com a motivação apresentou correlação positiva e não significativa com a meta-aprender ($r = 0.244$; $p = 0.28$); positiva e não significativa com a meta-performance ($r = 0.223$; $p = 0.33$) e uma forte correlação positiva e significativa com a meta performance-evitação ($r = 0.624$; $p = 0.0025$).

Em adolescentes do ensino médio da mesma faixa etária deste estudo, Zenorini *et al.* (2011) observaram que a meta aprender é correlacionada ao alto desempenho enquanto que a meta performance-evitação ao baixo desempenho escolar.

No estudo de Crestani e Oliveira (2015), a motivação, com predomínio da meta-aprender, esteve vinculada ao melhor desempenho acadêmico de estudantes do ensino médio técnico. Segundo Zenorini *et al.* (2011), os estudantes com tendência à meta-aprender demonstram motivação intrínseca para a aprendizagem, por isso apresentam alto desempenho, maior esforço e persistência para conquistar seus objetivos, percepção de eficiência acadêmica, aprendizagem autorregulada, desejo de buscar ajuda para as tarefas. A meta performance-evitação é associada a pouca determinação, persistência e baixo desempenho.

Contudo, neste estudo, nos alunos do GI houve uma correlação significativa entre os resultados dos testes de genética com os resultados da meta performance-evitação. Isto corrobora com os resultados obtidos por Santos *et al.* (2011), que

observaram uma correlação significativa entre o desempenho acadêmico de universitários com a meta performance-aproximação e com a performance-evitação. Os autores afirmam que estes resultados levam a questionamentos acerca da distinção entre as metas performance-aproximação e evitação, bem como sugere a existência da influência de uma sobre a outra.

Este resultado fortalece a ideia de que, alunos inicialmente inclinados à meta performance-evitação podem ter melhorado sua motivação, ou seja, o Programa Neurocientífico de ensino pode ter contribuído para despertar o interesse e motivação dos alunos para o aprendizado de genética. Isto foi percebido claramente em alguns alunos do GI, como os alunos B21, B15, B12, B25 que apresentaram as melhores pontuações nos testes de genética do GI e uma alta inclinação para a meta performance-evitação.

Os alunos do GI apresentaram seus maiores conceitos no período em que o programa foi realizado. Além disso, a média de faltas dos alunos do GI no quarto bimestre foram significativamente inferiores ao GC. Estes resultados também indicam que a intervenção elevou o interesse e motivação nos alunos do GI pelos conteúdos de genética.

Acredita-se que a motivação e interesse gerados pela aplicação do programa de ensino foram decisivos nos resultados positivos observados em uma parcela de alunos do GI. Como visto na literatura, para que o aprendizado significativo aconteça, o estudante precisa estar disposto e motivado a aprender (MOREIRA, 1999).

Para finalizar, serão mencionadas algumas limitações encontradas no desenvolvimento deste estudo.

6.9 LIMITAÇÕES ENCONTRADAS NESTE ESTUDO

Primeiro, não foi possível aplicar os testes de genética e os testes cognitivos em todos os alunos, pois alguns faltaram os últimos dias da intervenção. Portanto, estes alunos não foram contabilizados nesta pesquisa. Os testes de genética, por exemplo, foram realizados com aproximadamente 79% dos alunos, de ambas as turmas. Por isso, acredita-se que os resultados do Programa Neurocientífico de Ensino poderiam ser um pouco melhores com a participação de alunos como B2, B16 e B22.

A aluna B22, por exemplo, nos testes iniciais, mostrou alto nível de motivação para aprender, com alta tendência a aprendizagem significativa, e o maior resultado do teste de Raciocínio Abstrato do GI. Contudo, a referida aluna não realizou os testes finais, mesmo após diversas tentativas de contato.

Na verdade, foram realizadas diversas tentativas de contato com os alunos ausentes de ambos os grupos (A3, A6, A9, A10, A14, A21, A26, B2, B4, B6, B16, B19, B22), tanto pelo pesquisador quanto pela secretaria da escola.

O pesquisador insistiu com mensagens de texto de celular e redes sociais (WhatsApp e Facebook), mas alguns alunos ignoraram as mensagens, outros concordaram em realizar os testes, mas não compareciam no período combinado. Uma aluna deixou claro que não gostaria de responder os testes (B6).

Novamente, convém lembrar que o tempo curto das aulas foi um fator limitante e prejudicou o desenvolvimento efetivo da maioria das atividades previstas. Algumas aulas práticas em âmbito laboratorial, como a extração de DNA de vegetais e eletroforese em gel de agarose, as quais são fáceis de serem empregadas e apresentam baixo custo, estavam previamente programadas, mas tiveram que ser descartadas em função da quantidade de conteúdo a ser repassado em sala de aula e pelo tempo limitado das aulas (50 minutos).

Outro fator limitante a ser considerado foi a indisciplina presente em um grupo de alunos do GI. A indisciplina, segundo Silva e Matos (2014), engloba um conjunto de comportamentos disruptivos menos graves, que violam regras estritamente escolares, porém não chegam a atingir um nível de violência física ou psicológica aos sujeitos envolvidos. Os comportamentos disruptivos dificultam “o bom andamento da aula”, ou seja, o processo de ensino-aprendizagem.

Na maioria das aulas em que os alunos “indisciplinados” estavam presentes, posicionados ao fundo da sala de aula, comportamentos considerados disruptivos ocorriam com maior frequência. Estes alunos, alguns repetentes, demonstravam desinteresse pelo conteúdo, conversavam bastante entre si, às vezes gritavam, emitiam respostas desconexas às discussões do conteúdo, realizavam comentários irônicos, imitavam ordens do professor, desobedeciam a ordens expressas pelo professor para ficarem calados, buscando sempre chamar atenção e prejudicar o andamento da aula. Além disso, algumas alunas posicionadas nas primeiras carteiras apresentavam comportamento infantilizado, reclamavam e questionavam a competência dos professores de outras disciplinas.

Contudo, mesmo gerando perturbação no desenvolvimento da aula, quando são pouco frequentes, os comportamentos disruptivos menos graves tendem a ser ignorados ou facilmente controlados pelos professores. Em alguns casos, estes comportamentos podem até ser importantes para diminuir o cansaço e estresse causado pela rotina escolar (SILVA; MATOS, 2014). O cansaço e o estresse são fatores que comprometem o bom funcionamento da atenção, memória, raciocínio e outras funções cognitivas importantes para o aprendizado de qualquer conteúdo.

Na maioria das vezes, no GI, o professor perdia alguns minutos da aula buscando “acalmar” os alunos ou esperando para iniciar a exposição do conteúdo. Havia alunos fora da sala, muitos pediam para ir ao banheiro, alguns estavam em pé e não paravam de conversar com seus colegas, até serem chamados à atenção, muitas vezes de forma agressiva pelo professor. Quando era necessária a utilização de materiais complementares (por exemplo, data show), demorava-se muito tempo para instalar, favorecendo ainda mais o aparecimento da indisciplina.

Segundo a Pesquisa Internacional sobre Ensino e Aprendizagem – TALIS 2013, os professores gastam aproximadamente 20% do tempo da aula buscando manter a disciplina, buscando acalmar os alunos, dar broncas e focar a atenção ao conteúdo que será ensinado. Além disso, gastam em torno de 13% do tempo resolvendo problemas burocráticos, sobrando somente 67% para o ensino e aprendizagem. Levando em conta esses valores, em uma aula de 50 minutos, um professor consegue lecionar por apenas 33.5 minutos.

O pesquisador sentia-se frustrado com a falta de interesse de alguns alunos do GI, que faziam pouco esforço para aprender. O aluno B17 foi visto somente nas aulas iniciais e finais do semestre, momento em que questionou o professor sobre o que poderia fazer para receber aprovação.

Era, assim, notável o desinteresse e desmotivação de alguns alunos do GI, os quais não realizavam as atividades propostas ou entregavam incompletas, repletas de erros importantes que poderiam ser evitados, pois tinham tempo suficiente para entregar.

O professor e o pesquisador anunciavam uma atividade para a aula seguinte, tentavam motivar os alunos com palavras, possibilidade de premiação e conceito, ainda assim, uma determinada parcela de alunos não comparecia. Em dias chuvosos, a condição piorava. Muitos alunos se ausentavam, mesmo aqueles que moravam próximos à escola.

Os alunos do GC apresentavam nitidamente um interesse maior na aprendizagem e poucos comportamentos disruptivos. Nesta turma, o professor conseguia iniciar mais rapidamente o conteúdo, as aulas tinham um rendimento maior, as atividades eram realizadas com rapidez e qualidade.

Os alunos do GC realizavam questionamentos mais pertinentes ao conteúdo, e davam respostas mais coerentes às questões propostas. A maioria dos alunos estava preocupada com o vestibular, com desejo de compreender o conteúdo e relacioná-lo com questões cotidianas.

Ainda sobre os alunos do GC, no momento dos testes finais, percebeu-se um empenho maior para resolver e acertar as questões, mesmo já tendo conceito suficiente para aprovação e na incerteza se a atividade apresentava algum valor em termos de conceito bimestral.

A necessidade de desenvolver o programa de ensino no segundo semestre de 2015 também gerou prejuízo. Entre os fatores que levaram ao desenvolvimento do programa no segundo semestre de 2015, pode-se citar o afastamento do professor titular da disciplina durante o primeiro semestre e a greve dos professores no Estado do Paraná, que também aconteceu neste período.

Talvez, se o programa fosse desenvolvido no primeiro semestre, os alunos do GI estariam mais motivados para aprender e não mostrariam com tanta frequência os comportamentos disruptivos ou indisciplinados que estavam acostumados a mostrar com a maioria dos professores.

Este momento denota o final do capítulo referente aos resultados e discussões. Em seguida, serão apresentadas as considerações finais desta tese, em que o objetivo geral e os específicos serão retomados e brevemente respondidos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese apresentou como objetivo geral: “Avaliar a eficiência de um Programa Neurocientífico de Ensino para a aprendizagem significativa de genética no Ensino Médio”. Deste objetivo geral, este trabalho apresentou os seguintes objetivos específicos:

- Verificar os conhecimentos prévios (subsunçores) dos alunos acerca de conceitos básicos de genética.
- Avaliar o interesse dos alunos por assuntos biológicos, sua motivação e estilo de aprendizagem.
- Analisar a eficiência da aplicação de um jogo didático, produto educacional desta pesquisa, para avaliação de conceitos básicos de genética no período pós-intervenção.
- Verificar a influência de aspectos cognitivos no conhecimento de genética.
- Relacionar os dados obtidos pelos instrumentos de coleta de dados no período pré-intervenção com os resultados obtidos nos testes de conhecimentos de genética aplicados no período pós-intervenção.

O trabalho foi desenvolvido com o auxílio do professor titular da disciplina de Biologia, o qual se mostrou sempre atencioso com o pesquisador e preocupado com as questões desta pesquisa, além de apresentar domínio do assunto e ser respeitado e querido pela maioria dos alunos. Lembrando que o professor deu total liberdade ao pesquisador para a realização das atividades, o que facilitou bastante o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

Considerando o primeiro objetivo específico desta tese, ou seja, “Verificar os conhecimentos prévios (subsunçores) dos alunos acerca de conceitos básicos de genética”, pode-se dizer que ambas as turmas apresentaram poucos conhecimentos prévios de genética básica, um fator limitante para o aprendizado significativo de novos conceitos. Os alunos de ambos os grupos até mostraram conhecimento sobre a interação genoma-organismo-ambiente e sobre a relação entre o conhecimento científico com as questões cotidianas, mas apresentaram pouco conhecimento e diversas concepções equivocadas do conceito e das relações entre DNA-gene-cromossomo e divisões celulares. Contudo, pode-se dizer que o GC apresentou subsunçores mais coerentes e elaborados que os alunos do GI.

Desta forma, a aplicação deste programa foi um desafio interessante, pois se tratou de ensinar novos conhecimentos (por exemplo, conceitos da genética mendeliana) a alunos com redes neurais insuficientes e pouco conhecimento básico de genética disponível em sua estrutura cognitiva para ancoragem de novas aprendizagens. Vale lembrar que o ensino de conteúdos biológicos como genética e evolução biológica deve se iniciar em fases precoces da disciplina de Ciências do Ensino Fundamental II. Por isso, os professores devem estar preparados para apresentar estes conteúdos de forma atualizada e contextualizada aos seus alunos.

Considerando o segundo objetivo específico desta tese, “Avaliar o interesse dos alunos por assuntos biológicos, sua motivação e estilo de aprendizagem”, pode-se dizer que o GC até apresentou maior interesse por assuntos biológicos, porém ambos os grupos de alunos costumam dedicar pouco tempo ao estudo do conteúdo de Biologia fora do ambiente escolar.

Os alunos do GC apresentaram nitidamente maior motivação intrínseca para a aprendizagem, com alta inclinação para a meta-aprender. Além disso, o referido grupo apresentou maior inclinação para a aprendizagem significativa. Contudo, estes fatores não implicaram em melhores resultados nos testes finais sobre o conhecimento de Genética. Ao contrário, os alunos do GI que apresentaram as melhores pontuações nos testes de genética também apresentaram inclinação para a aprendizagem significativa.

O terceiro objetivo desta tese foi “Analisar a eficiência da aplicação de um jogo didático, produto educacional desta pesquisa, para avaliação de conceitos básicos de genética no período pós-intervenção”. Pode-se dizer que tal recurso didático foi uma ferramenta eficiente para avaliar o conteúdo de genética estudado, sendo também, uma poderosa estratégia para envolver os alunos em um ambiente facilitador da expressão de emoções positivas, como alegria, interesse, curiosidade, motivação e entusiasmo, que são importantes para o aprendizado e memória.

Em relação ao quarto objetivo específico do trabalho, “Verificar a influência de aspectos cognitivos no conhecimento de genética”, o que realmente foi observado é que a maioria dos alunos de ambos os grupos apresentaram déficits de atenção e raciocínio abstrato, fatores que devem ser relacionados à dificuldade em aprender genética de forma significativa.

O quinto e último objetivo específico desta tese foi “Relacionar os dados obtidos pelos instrumentos de coleta de dados no período pré-intervenção com os

resultados obtidos nos testes de conhecimentos de genética aplicados no período pós-intervenção”. No final desta pesquisa, observou-se que ambos os grupos apresentaram pouca evolução no conhecimento de genética em relação aos resultados obtidos no início da pesquisa no qual os subsunçores foram avaliados.

Os resultados dos pós-testes de genética, ou seja, do “Teste Dupla-Camada de Conhecimentos de Genética” de Kiliç e Saglam (2009) e do “Instrumento Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética” de Tsui e Treagust (2010) mostraram que os conhecimentos de conceitos de genética molecular e mendeliana de ambos os grupos foi radicalmente inferior aos obtidos em outras populações de alunos, europeus no caso do teste de Kiliç e Saglam (2009) e australianos no caso do teste de Tsui e Treagust (2010).

Há diversos fatores intrínsecos e extrínsecos que explicam a diferença encontrada nos resultados dos alunos europeus e australianos em relação aos obtidos neste estudo. Entre os fatores extrínsecos, destaca-se o contexto educacional destes países, que é distinto do Brasil. Na Inglaterra, por exemplo, os alunos experienciam o conteúdo de genética em fases mais precoces da escolarização. Adicionalmente, um fator intrínseco a ser considerado é o maior interesse dos alunos ingleses por conteúdos biológicos, o que pode ter influenciado os resultados.

Como discutido anteriormente, problemas no processo de ensino-aprendizagem de Genética no contexto educacional brasileiro é relatado constantemente em diversos estudos. Por isso, a partir dos resultados desta tese, acredita-se que para minimizar tais problemas é preciso investir na formação/capacitação do professor de Ciências e Biologia em relação ao conteúdo de Biologia Molecular e Genética, inserir este conteúdo em fases mais precoces do Ensino Fundamental II, incentivar e capacitar o professor para usar recursos didáticos multissensoriais (tecnológicos ou não), apresentar os conceitos complexos de genética sempre o mais concreto possível, sempre atualizado, contextualizado e vinculado com outros assuntos biológicos.

Retomando o objetivo geral desta pesquisa, ou seja, “Avaliar a eficiência de um programa neurocientífico de ensino para a aprendizagem significativa de genética no ensino médio” e, considerando todas as limitações encontradas para desenvolver o PNE descritas no final do capítulo sobre os Resultados e Discussões, pode-se afirmar com segurança que o PNE contribuiu para a AS de genética a uma parcela de alunos do GI, particularmente para aqueles alunos que demonstraram no período pré-

intervenção uma orientação para a aprendizagem significativa e inclinação para a meta performance-avoidance, cuja literatura diz estar ligada ao baixo desempenho e dedicação. Desta forma, corrobora-se a hipótese geral desta pesquisa, ou seja, que os alunos expostos ao PNE apresentaram melhores resultados nos testes finais de genética quando comparados aos alunos que não estiveram em contato com o programa. O PNE também contribuiu para uma evolução significativa nas notas obtidas pelos alunos do GI no quarto bimestre, momento em que o Programa de Ensino estava sendo desenvolvido com maior ênfase.

O PNE descrito nesta tese traz como contribuição mais ampla os benefícios de uma abordagem inovadora para o Ensino de Ciências, contribuindo para fomentar discussões e aumentar o número de pesquisas envolvendo o tema “Neurociência e Ensino”. Sugere-se que sejam feitas novas aplicações deste Programa de Ensino, com possíveis adaptações à população a ser estudada e ao conteúdo abordado, buscando sempre superar as lacunas e limitações encontradas e descritas ao longo desta tese. Adicionalmente, estudos devem ser realizados visando à padronização para a população brasileira de Questionários sobre Estilos de Aprendizagem (Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem) - *Learning Approach Questionnaire* (LAQ), Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética - *Two-tier Genetics Concepts Test* (TGCT) e o Teste Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética - *Two-tier Diagnostic Instrument for Genetics*.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Joana G.; CORREIA, Paulo R. M. Como fazer bons mapas conceituais? Estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 141-157, mai./ago. 2013.
- ALMEIDA, Leandro S.; PRIMI, Ricardo. **BPR-5: Bateria de Provas de Raciocínio: manual técnico**. 12. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2015.
- ANSARI, Daniel; COCH, Donna. Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience. **TRENDS in Cognitive Sciences**, v. 10, n. 4, p. 146-151, apr. 2006.
- AUSUBEL, David P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.
- AUSUBEL, David P.; NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. **Educational psychology: a cognitive view**. 2. ed. New York: Holt, Rinehart, and Winston, 1978.
- AWANG-KANAK, Fadzilah *et al.* Difficulties Experience by Science Foundation Students on Basic Mendelian Genetics Topic: A Preliminary Study. **Transactions on Science and Technology**, v. 3, n. 1-2, p. 283-290, jun. 2016.
- BADDELEY, Alan. Working memory and language: an overview. **Journal of Communication Disorders**, v. 36, n. 3, p. 189-208, may/jun. 2003.
- BALEY, Charles A. Concept Mapping: A Neuro-Scientific Approach. In: MIDWEST RESEARCH-TO-PRACTICE CONFERENCE IN ADULT, CONTINUING, AND COMMUNITY EDUCATION, 2005, University of Wisconsin, Milwaukee-WI. Disponível em: <<https://scholarworks.iupui.edu/bitstream/handle/1805/631/02.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 03 abr. 2017.
- BARBOSA, Antonio Carlos *et al.* Prática do processo psicológico básico - atenção em jovens da comunidade. **Revista CIPPUS**, v.2, n.2, 191-204, nov. 2013.
- BAUMGARTL, Viviane O.; NASCIMENTO, Elizabeth. A Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) aplicada a um contexto organizacional. **Psico-USF**, Itatiba, v. 9, n. 1, p. 1-10, jan./jun. 2004.

BENARÓS, Sol *et al.* Neurociencia y educación: hacia la construcción de puentes interactivos. **Revista de Neurología**, v. 50, n. 3, p. 179-186, 2010.

BIANCHINI, Aline; OIKAWA, Erika. Memória e emoção nos circuitos cerebrais: entrevista com Ivan Izquierdo. **Sessões do Imaginário**, v. 18, n. 30, p. 147-149, 2013.

BLAKEMORE, Sarah-Jayne.; CHOUDHURY, Suparna. Development of the adolescent brain: implications for executive function and social cognition. **J Child Psychol Psychiatry**, v.47, n(3-4):p.296-312, mar./apr. 2006.

BORGES, Carla Karoline G. D.; SILVA, Cirlande C.; REIS, Andreza Rayane H. As dificuldades e os desafios sobre a aprendizagem das leis de Mendel enfrentados por alunos do ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.12, n. 6, p. 61-75, 2017.

BRAGA, Cleonice Miguez D. S.; FERREIRA, Louise Brandes M.; GASTAL, Maria Luísa A. O uso de modelos no ensino da divisão celular na perspectiva da aprendizagem significativa. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, ENPEC, 2009, Florianópolis. **Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, VII Enpec**, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/pdfs/1463.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2017.

BRAGA, Rodrigo G.; MATOS, Santer A. Kronus: refletindo sobre a construção de um jogo com viés investigativo. **Experiências no Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 1-19, 2013.

BRASIL, Ministério da Educação e Desporto. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM)**. Brasília: MEC, 2000.

_____. **Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica**. Brasília: MEC, 2013.

BRICKENKAMP, Rolf. **Aufmerksamkeits-Belastungs-Test**. 1. ed. Göttingen: Verlag für Psychologie Hogrefe, 1962.

_____. **Teste D2: atenção concentrada**. Manual: instruções, avaliação, interpretação. São Paulo: Centro Editor de Testes e Pesquisas em Psicologia, 2000.

BROCKELMANN, Rita H. **Conexões com a Biologia**. Componente Curricular: Biologia. Editora Moderna, 2014.

BURGOS, Bertha M. V.; de CLEVES, Nahyr R.; MÁRQUEZ, María Graciela C. El cerebro que aprende. **Tabula Rasa**, Bogotá-Colômbia, n. 11, p. 329-47, jul./dic. 2009.

CAMARGO, Solange S.; INFANTE-MALACHIAS, Maria E. A genética humana no ensino médio: algumas propostas. **Genética na Escola**, v. 2, n. 1, p. 14-16, 2007.

CAMPO-CABAL, Gerardo. Biología del aprendizaje. **Revista Colombiana de Psiquiatria**, Bogotá-Colômbia, v. 41, p. 22-30, sep. 2012.

CARDOSO, Maria Marcolina L.; CARDOSO, Tiago Augusto L.; SILVA, Maria de Lourdes S. Proposta de atividade lúdica para a aprendizagem de conceitos em genética. **Revista Didática Sistemática**, Rio Grande, v. 12, p. 148-61, 2010.

CARVALHO, Fernanda Antoniolo H. Neurociências e educação: uma articulação necessária na formação docente. **Trabalho, Educação e Saúde (Online)**, Rio de Janeiro, v. 8 n. 3, p. 537-50, nov. 2011.

CARVALHO, Júlio Cesar Q.; COUTO, Sheila G.; BOSSOLAN, Nelma Regina S. Algumas concepções de alunos do ensino médio a respeito das proteínas. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 18, n. 4, p. 897-912, 2012.

CASTELÃO, Talita B.; AMABIS, José M. Motivação e ensino de genética: um enfoque atribucional sobre a escolha da área, prática docente e aprendizagem. In: 54º CONGRESSO BRASILEIRO DE GENÉTICA, Salvador-BA, 2008. **Resumos do 54º Congresso Brasileiro de Genética**. Disponível em: <www.sbg.org.br>. Acesso em: 05 set. 2016.

CAVALLO, Ann M. L.; SCHAFER, Larry E. Relationships between students' meaningful learning orientation and their understanding of genetics topics. **Journal of research in science teaching**, v. 31, n. 4, p. 393-418, apr. 1994.

CAVALLO, Ann M. L. Meaningful Learning, Reasoning Ability, and Students' Understanding and Problem Solving of Topics in Genetics. **Journal of Research Science Technology**, v. 33, n. 6, p. 625-656, aug. 1996.

CAVALLO, Ann M. L.; POTTER, Wendell H.; ROZMAN, Michelle. Gender differences in learning constructs, shifts in learning constructs and their relationship to course achievement in a structured inquiry, yearlong college physics course for life science majors. **School Science and Mathematics**, v. 104, n. 6, p. 288–300, oct. 2004.

CERQUEIRA, Bruno R. S.; SOBRINHO, Iderval S. J; PERIPATO, Andréa C. Está ligado? Uma forma lúdica de aprender ligação gênica. **Genética na Escola**, v. 8, n. 2, p. 132-145, 2013.

CHEDID, Kátia A. K. Psicopedagogia, educação e neurociências. **Revista Psicopedagogia**, São Paulo, v. 24, n. 75, p. 298-300, 2007.

CHRISTODOULOU, Joanna A.; GAAB, Nadine. Using and misusing neuroscience in education-related research. **Cortex**, v. 45, n. 4, p. 555-557, apr. 2009.

CHROUSOS, George P. Stress and disorders of the stress system. **Nat Rev Endocrinol**, v. 5, n. 7, p. 374-81, jun. 2009.

CHU, Yu-Chien; REID, Norman. Genetics at school level: addressing the difficulties. **Research in Science & Technological Education**, v. 30, n. 3, p. 285–309, oct. 2012.

COLLINS, Allan M.; QUILLIAN, M. Ross. Retrieval time from semantic memory. **Journal of verbal learning and verbal behavior**, v. 8, n. 2, p. 240-247, apr. 1969.

CONSENZA, Ramon M.; GUERRA, Leonor B. **Neurociência e educação: como o cérebro aprende**. Porto Alegre: ARTMED, 2011.

CORREIA, Paulo R. M.; SILVA, Amanda C.; ROMANO JÚNIOR, Jerson G. Mapas conceituais como ferramenta de avaliação na sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 4, p. 4402-8, 2010.

CRESTANI, Rafaella L.; OLIVEIRA, Sandra M. S. S. Relações entre motivação, inteligência e desempenho acadêmico de alunos de ensino médio e técnico. **Diálogos Educ. R.**, Campo Grande, v. 6, n. 1, p. 36-50, jul. 2015

DALMAZ, Carla; NETTO, Carlos A. A memória. **Ciência e Cultura**, v. 56, n. 1, jan./mar. 2004.

DAL-FARRA, Rossano A.; PRATES, Emerson J. A psicologia face aos novos progressos da genética humana. **Psicologia: Ciência e Profissão**, v. 24, n. 1, 94-107, 2004.

DEHN, Milton J. **Working memory and academic learning: assessment and intervention**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.

DIKMENLI, Musa. Misconceptions of cell division held by student teachers in biology: a drawing analysis. **Sci Res Essay**, v.5, n. 2, p.235–247, jan. 2010.

DUMONTHEIL, Iroise. Development of abstract thinking during childhood and adolescence: The role of rostral lateral prefrontal cortex. **Dev Cogn Neurosci**, v.10, p.57-76, oct. 2014.

DUMONTHEIL, Iroise *et al.* Development of the selection and manipulation of self-generated thoughts in adolescence. **J Neurosci.**, v. 2, n. 30, p.7664-71, jun. 2010.

FABRÍCIO, Maria de Fátima L. *et al.* A compreensão das leis de Mendel por alunos de biologia na educação básica e na licenciatura. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 08, n. 01, p. 83-103, jul. 2006.

FERRER, Emilio; O'HARE, Elizabeth D.; BUNGE, Silvia A. Fluid reasoning and the developing brain. **Frontiers in Neuroscience**, v. 3, n. 1, p. 46-51, may. 2009.

FISCHER, Julianne. **Uma abordagem prática neuropedagógica como contribuição para a alfabetização de pessoas portadoras de necessidades educativas especiais**. 2001. 152f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

FREIDENREICH, Hava B.; DUNCAN, Ravit G.; SHEA, Nicole. Exploring middle school students' understanding of three conceptual models in genetics. **International Journal of Science Education**, v. 33, n. 17, p. 2323-2349, 2011.

FREITAS FILHO, José R. Mapas conceituais: estratégia pedagógica para construção de conceitos na disciplina química orgânica. **Ciências & Cognição**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 86-95, dez. 2007.

GARCÍA-MADRUGA, Juan A.; FERNÁNDEZ-CORTE, Teresa. Learning complex historical knowledge at high school: The role of working memory. **Análise Psicológica**, v. 2, n. 17, p. 214-252, 1999.

GEAKE, John; COOPER, Paul. Cognitive Neuroscience: implications for education? **Westminster Studies in Education**, v. 26, n. 1, p. 7-20, jun. 2003.

GOLDBACH, Tânia *et al.* Para repensar o ensino de genética: levantamento e análise da produção acadêmica da área do ensino de Ciências e Biologia no Brasil. **Enseñanza de las Ciencias**, v. extra, p.1843-1847, 2009.

_____. *et al.* Problemas e desafios para o ensino de genética e temas afins no ensino médio: dos levantamentos aos resultados de um grupo focal. VII ENPEC - ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, ENPEC, 2009, Florianópolis. **Anais...Florianópolis**, 2009. p.1-12.

GONZÁLEZ, Hilda L. *et al.* Mediated learning experience and concept maps: a pedagogical tool for achieving meaningful learning in medical physiology students. **Advance in Physiology Education**, v. 32, n. 4, p. 312-316, dec. 2008.

GOSWAMI, Usha. Neuroscience and education. **British Journal of Educational Psychology**, v. 74, p. 1-14, dec. 2004.

_____. Neuroscience and education: from research to practice? **Nature Reviews Neuroscience**, v. 7, n. 5, p. 406-11, may. 2006.

GUERRA, Leonor B. Diálogo entre a neurociência e a educação: da euforia aos desafios e possibilidades. **Revista Interlocução**, Belo Horizonte, v. 4, n. 4, p. 3-12, jun. 2011.

GUY, Richard; BYRNE, Bruce. Neuroscience and learning: implications for teaching practice. **Journal of Experimental Neuroscience**, v. 7, p. 39-42, aug. 2013.

HAWKINS, Jeff. **On intelligence**. New York: Times Books, 2004.

HILL, Amelia. Why teenagers can't concentrate: too much grey matter. The Guardian, UK, 31 mai. 2010. Disponível em: <
<https://www.theguardian.com/science/2010/may/31/why-teenagers-cant-concentrate-brains>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

INFANTE-MALACHIAS, María. Elena. *et al.* Comprehension of basic genetic concepts by brazilian undergraduate students. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 3, p. 657-668, 2010.

IZQUIERDO, Ivan A. *et al.* Memória: tipos e mecanismos - achados recentes. **Revista USP**, São Paulo, n. 8, p. 9-16, jun./jul./ago. 2013.

JOAQUIM, Leyla M.; EL-HANI, Charbel N. A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene. **Scientia Studia**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 93-128, jan./mar. 2010.

JUSTINA, Lourdes A. D.; FERLA, Márcio R. A utilização de modelos didáticos no ensino de Genética - exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. **Arquivos do MUDI**, v. 10, n. 2, p. 35-40, 2006.

JUSTINA, Lourdes A. D.; RIPPEL, Jorge L. Ensino de genética: representações da ciência da hereditariedade no nível médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2004, Bauru. **Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2004. Disponível em: <<http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/ivenpec/Arquivos/Orais/ORAL076.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

KANDEL, Erich R.; SCHWARTZ, James H.; JESSELL, Thomas M. **Principles of Neural Science**. 4. ed. New York, NY: McGraw-Hill Medical, 2003.

KILIÇ, Didem; SAGLAM, Necdet. Development of a two-tier diagnostic test to determine students' understanding of concepts in genetics. **Eurasian Journal of Educational Research**, n. 36, p. 227-244, 2009.

_____. Students' understanding of genetics concepts: the effect of reasoning ability and learning approaches. **Journal of Biological Education**, v. 48, n. 2, p. 63-70, nov. 2014.

KILIÇ, Didem; TABER, Keith S.; WINTERBOTTOM, Mark. A cross-national study of students' understanding of genetics concepts: implications from similarities and differences in England and Turkey. **Education Research International**, v. 2016, p. 1-14, 2016.

KNIPPELS, Marie-Christine P. J.; WAARLO, Arend J.; BOERSMA, Kerst T. Design criteria for learning and teaching genetics. **Journal of Biological Education**, v. 39, n. 3, p. 108-112, dec. 2005.

KREUZER, Helen; MASSEY, Adrienne. **Engenharia Genética e Biotecnologia**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

LENT, Roberto. **Cem bilhões de neurônios? Conceitos fundamentais de neurociência**. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2010.

LEWIS, Jenny; WOOD-ROBINSON, Colin. Genes, chromosomes, cell division and inheritance - do students see any relationship? **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 2, p. 177-195, 2000.

LOPES, Regina Maria F. *et al.* Diferenças quanto ao desempenho na atenção concentrada de crianças e adolescentes com e sem TDAH. **Revista de Psicologia da IMED**, v. 2, n. 2, p. 377-384, 2010.

MAIATO, Alexandra M. **Neurociências e aprendizagem: o papel da experimentação no ensino de ciências**. 2013. 81f. (Mestrado em Educação em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande-RS, 2013.

MARTINEZ, Emanuel R. M.; FUJIHARA, Ricardo T.; MARTINS, César. Show da genética: um jogo interativo para o ensino de genética. **Genética na Escola**, v. 3, n. 2, p. 1-4, 2008.

MEGLHIORATTI, Fernanda A.; EL-HANI, Charbel N.; CALDEIRA, Ana Maria A. A centralidade do conceito de organismo no conhecimento biológico e no ensino de biologia. In: CALDEIRA, Ana Maria A. (Org.). **Ensino de Ciências e Matemática II: Temas sobre Formação de Conceitos**. São Paulo: Cultura Acadêmica/UNESP, 2009, p. 33-52

MEGLHIORATTI, Fernanda A.; EL-HANI, Charbel N., CALDEIRA, Ana Maria A. C. O conceito de organismo em uma abordagem hierárquica e sistêmica da Biologia. **Revista da Biologia**, v. 9, n. 2, p. 7-11, 2012.

MELLO, Cláudia B. Memória. In: MUSZKAT, Mauro; MELLO, Cláudia B. (Orgs.) **Neuropsicologia do desenvolvimento e suas interfaces**. São Paulo: All Point Editora, 2008. p. 158-172.

MELO, José R.; CARMO, Edinaldo M. Investigações sobre o ensino de genética e biologia molecular no ensino médio brasileiro: reflexões sobre as publicações científicas. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 15, n. 3, p. 593-611, 2009.

MICHAELIS: moderno dicionário da língua portuguesa. São Paulo: Editora Melhoramentos Ltda, 2018. Disponível em: <www.uol.com.br/michaelis>. Acesso em: 03 fev. 2018.

MOREIRA, Marco A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

_____. La teoría del aprendizaje significativo: un referente para organizar la enseñanza contemporánea. **Unión Revista Iberoamericana de Educación Matemática**, n. 31, p. 9-20, 2012.

MOREIRA, Marco A.; SPERLING, Carla S. Mapas conceptuales y aprendizaje significativo: ¿una correlación necesaria? **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 3, p. 91-100, 2009.

MOURA, Joseane *et al.* Biologia/Genética: O ensino de biologia, com enfoque a genética, das escolas públicas no Brasil – breve relato e reflexão. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 167-174, jul./dez. 2013.

NEWMAN, Dina L.; CATAVERO, Christina M.; WRITE, L. Kate. Students fail to transfer knowledge of chromosome structure to topics pertaining to cell division. **CBE – Life Sciences Education**, v.11, n. 4, p. 425-436, 2012.

NORONHA, Ana Paula P.; BARROS, Mariana V. C.; NUNES, Maiana F. O. Correlações entre interesses profissionais e inteligência em adolescentes, **Psicologia: teoria e prática**, São Paulo, v. 11, n. 2, dez. 2009.

NOVAK, Joseph D. **Learning, creating, and using knowledge**: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations. New York: Routledge, 2010.

_____. A theory of education: meaningful learning underlies the constructive integration of thinking, feeling, and acting leading to empowerment for commitment and responsibility. **Meaningful Learning Review**, v. 1, n. 2, p. 1-14, 2011.

NOVAK, Joseph D.; CAÑAS, Alberto J. A teoría subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. **Práxis Educativa**, Ponta Grossa, v. 5, n.1, p. 9-29, jan./jun. 2010.

NUNES, Francis M. F. Do laboratório à sala de aula: os recentes avanços da Genética. **Genética na Escola**, v. 5, n. 1, p. 57-61, 2010.

OKEBUKOLA, Peter A.; JEGEDE, Olugbemi J. Students' anxiety towards and perception of difficulty of some biological concepts under the concept-mapping heuristic. **Research in Science & Technological Education**, v. 7, n. 1, p. 85-92, jun. 1989.

OKITA, Sandra Y. Social Interactions and Learning. In: SEEL, N. M. (Ed.) **Encyclopedia of the Science of Learning**. Springer, US, 2012. p.3104-3107.

OLIVEIRA, Mayara L. *et al.* Genética na TV: o vídeo educativo como recurso facilitador do processo de ensino-aprendizagem. **Experiências no Ensino de Ciências**, v. 7, n. 1, p. 27-49, 2012.

ORGOGOZO, Virginie; MORIZOT, Baptiste; MARTIN, Arnaud. The differential view of genotype phenotype relationships. **Frontiers in Genetics**, v. 6, p. 1-14, may. 2015.

PAIVA, Ana Luíza B.; MARTINS, Carmen Maria C. Concepções prévias de alunos de terceiro ano do Ensino Médio a respeito de temas na área de Genética. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 7, n. 3, p. 1-20, set./dez. 2005.

PANIAGUA, Adriana; VILLAGRÁ, Jesús A. M. Modelo de estructura cognoscitiva desde el punto de vista de la Teoría Reformulada de la Asimilación. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 7, n. 1, p. 107-130, 2008.

PANSERA, Simone M. *et al.* Motivação intrínseca e extrínseca: diferenças no sexo e na idade. **Psicologia Escolar e Educacional**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 313-320, mai./ago. 2016.

PARANÁ. A Lei Complementar Estadual n.174 de 03 de julho de 2014. Diário Oficial do Executivo n.9239. Disponível em: <<https://www.documentos.dioe.pr.gov.br>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

PARRA, Jorge E. D.; RÍOS, John B.; CORTES, Félix John C. P. Santiago Felipe Ramón y Cajal, ¿Padre de la Neurociencia o Pionero de la Ciencia Neural? **International Journal of Morphology**, Temuco, v. 29, n. 4, p. 1202-1206, dic. 2011.

PATIÑO, Leonardo. C. **Visões sobre genes de pesquisadores em genética, biologia molecular e genômica em diferentes níveis de formação**. 2017. 94f. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Programa de

Pós-Graduação em Universidade Federal da Bahia e Universidade Federal de Feira de Santana, Bahia, 2017.

PEDRANCINI, Vanessa D.; CORAZZA, Maria Júlia.; GALUCH, Maria Terezinha B. Mediação pedagógica e a formação de conceitos científicos sobre hereditariedade. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 1, p. 109-132, 2011.

PEREIRA JÚNIOR, Alfredo. Questões epistemológicas das neurociências cognitivas. **Trabalho Educação e Saúde**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 509-520, nov/fev. 2011.

PÉREZ-GÓMEZ, Ángel I. Os processos de ensino-aprendizagem: análise didática das principais teorias da aprendizagem. In: SACRISTÁN, José G.; PÉREZ GÓMEZ, Ángel I. (Orgs.). **Compreender e transformar o ensino**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000. p. 27-52.

PESQUISA INTERNACIONAL SOBRE ENSINO E APRENDIZAGEM (TALIS) 2013. Disponível em: <<https://www.oecd.org/edu/school/TALIS-2013-country-note-Brazil-Portuguese.pdf>>. Acesso em: 06 de agosto de 2017.

PICKERSGILL, Martyn; MARTIN, Paul; CUNNINGHAM-BURLEY, Sarah. The changing brain: Neuroscience and the enduring import of everyday experience. **Public Understanding of Science**, v. 24, n. 7, p. 878-892, oct. 2015.

PITOMBO, Maiana A.; ALMEIDA, Ana Maria R.; EL-HANI, Charbel N. Conceitos de gene e ideias sobre função gênica em livros didáticos de Biologia Celular e Molecular do Ensino Superior. **Contexto & Educação**, Editora Unijuí, n. 77, p. 81-110, jan. /jun. 2007.

PREUSSE, Franziska. *et al.* Fluid intelligence allows flexible recruitment of the parieto-frontal network in analogical reasoning. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 5, p. 1-14, mar. 2011.

PRIMI, Ricardo; ALMEIDA, Leandro S. Estudo de validação da Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5). **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 16, n. 2, p. 165-173, mai./ago. 2000.

PRIMI, Ricardo; FERRÃO, Maria Eugénia; ALMEIDA, Leandro S. Fluid intelligence as a predictor of learning: a longitudinal multilevel approach applied to math. **Learn. Individ. Differ**, v. 20, n. 5, p. 446–451, oct. 2010.

RAMOS, Angela S. F. Dados recentes da Neurociência fundamentam o método "Brain-based learning". **Revista Psicopedagogia (online)**, São Paulo, v. 31, n. 96, p. 263-274, 2014.

REID, Norman. The concept of working memory: introduction to the special issue. **Research in Science & Technological Education** 27, n. 2, p. 131–8, may 2009a.

_____. Working memory and science education: conclusions and implications. **Research in Science & Technological Education**, v. 27, n. 2, p. 245–50, jul. 2009b.

RIBEIRO, Sidarta. Tempo de cérebro. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 7-22, jan./abr, 2013.

ROCHE, Richard A. P. *et al.* Prolonged rote learning produces delayed memory facilitation and metabolic changes in the hippocampus of the ageing human brain. **BMC Neuroscience**, v. 10, n. 136, p. 1-17, nov. 2009.

RODRIGUES, Leude P.; MOURA, Lucilene S.; TESTA, Edimárcio. O tradicional e o moderno quanto à didática no ensino superior. **Revista Científica do ITPAC**, Araguaína, v. 4, n. 3, jul, 2011.

RODRIGUES, Renata F. O uso de modelagens representativas como estratégia didática no ensino da genética: um estudo de caso. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 2, p. 53-66, 2012.

ROTTA, Newra T. Introdução. IN: ROTTA, Newra T., OHLWEILER, Lygia; RIESGO, Rudimar S. (Orgs.). **Transtornos da aprendizagem: abordagem neurobiológica e multidisciplinar**. Porto Alegre: Artmed, 2007. p. 15-20.

RUEDA, Fabián J. M.; MONTEIRO, Rebecca M. Bateria Psicológica para Avaliação da Atenção (BPA): desempenho de diferentes faixas etárias. **Psico-USF**, Bragança Paulista, v. 18, n. 1, p. 99-108, jan./abr. 2013

RUPPENTHAL, Raquel; SANTOS, Tatiana L.; PRATI, Tatiana V. A utilização de mídias e TICs nas aulas de Biologia: como explorá-las. **Cadernos do Aplicação**, Porto Alegre, v. 24, n. 2, jul./dez. 2011.

RUSSO, Jane A.; PONCIANO, Edna L. T. O Sujeito da Neurociência: da Naturalização do Homem ao Re-encantamento da Natureza. **PHYSIS: Revista de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 345-373, 2002.

SALAMONE, John D.; CORREA, Merce. The mysterious motivational functions of mesolimbic dopamine. **Neuron**, v. 76, n. 3, p. 470-85, nov. 2012.

SALAMONE, John D. *et al.* Mesolimbic Dopamine and the regulation of motivated behavior. **Curr Top Behav Neurosci**, v. 27, p. 231-57, 2016.

SANTOS, Acácia A. A. *et al.* A relação entre vida acadêmica e a motivação para aprender em universitários. **Psicol. Esc. Educ**, v. 15, n. 2, p.283-290, 2011.

SANTOS, Erica R. D.; SANTORO, Carlos E.; GALEMBECK, Eduardo. Segunda lei de Mendel. **Projeto EMBRIO**, 31 jan. 2014. Disponível em: <<http://www.embriao.ib.unicamp.br/embriao2/visualizarMaterial.php?idMaterial=1406>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

SANTOS, Fabio S. dos *et al.* Interlocução entre neurociência e aprendizagem significativa: uma proposta teórica para o ensino de genética. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 149-182, 2016.

SALIM, Daniela C. *et al.* O baralho como ferramenta no ensino de genética. **Genética na Escola**, v. 2, n. 1, p. 6-9, 2007.

SCHEID, Neusa M. J.; FERRARI, Nadir. A história da ciência como aliada no ensino de genética. **Genética na Escola**, v. 1, n. 1, p. 17-18, 2006.

SCHNEIDER, Eduarda M.; JUSTINA, Lourdes A. D.; MEGLHIORATTI, Fernanda A. Investigação do desenvolvimento de um módulo didático sobre o conceito de gene na licenciatura em ciências biológicas. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 3, p. 1-21, 2013.

_____. A percepção de alunos do ensino médio em relação a interação gene-organismo-ambiente. In: VIII ENPEC - ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, I CIEC - CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACION EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, 2011, Campinas. **Anais...Campinas**, 2011. p.1-12.

SCHNEIDER, Eduarda M. *et al.* Conceitos de gene: construção histórico-epistemológica e percepções de professores do ensino superior. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, p. 201-222, 2011.

SILVA, Ana Cristina A. **Aplicação do programa de neurociência: intervenção em leitura e escrita**. 2012. 81f. Dissertação (Mestrado em Educação Especial) – Programa de Pós-graduação em Educação Especial: Domínio Cognitivo e Motor, Escola Superior de Educação Almeida Garrett, Lisboa, 2012.

SILVA, Luciano C.; MATOS, Daniel A. S. As percepções dos estudantes mineiros sobre a incidência de comportamentos de indisciplina em sala de aula: um estudo a partir dos dados do SIMAVE/PROEB 2007. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 58, p. 713-730, jul./set. 2014.

SILVA, Mário M.; BEZERRA, Edileuza L. Contribuições da neurociência ao processo de ensino-aprendizagem. In: V Colóquio Internacional “Educação e Contemporaneidade”, 2011, São Cristovão-SE. Disponível em: <<http://www.educonufs.com.br/vcoloquio/cdcoloquio/cdroom/eixo%2014/PDF/Microsoft%20Word%20-%20CONTRIBUI%20coES%20DAS%20NEUROCI%20ENCIAS.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

SIQUEIRA, Cláudia M.; GURGEL-GIANNETTI, Juliana. Mau desempenho escolar: uma visão atual. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 57, n. 1, p. 78-87, 2011.

SMITH, Michelle K.; KNIGHT, Jennifer K. Using the genetics concept assessment to document persistent conceptual difficulties in undergraduate genetics courses, **Genetics**, v. 191, n. 1, p. 21-32, may 2012.

SOUSA, Grasielle P.; TEIXEIRA, Paulo M. M. Educação CTS e Genética. Elementos para a sala de aula: potencialidades e desafios. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 2, p. 83-103, 2014.

SOUZA, Nádia A.; BORUCHOVITCH, Evely. Mapas conceituais: estratégia de ensino/aprendizagem e ferramenta avaliativa, **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v. 26, n. 03, p. 195-218, dez. 2010.

SQUIRE, Larry R.; ZOLA, Stuart M. Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 93, p. 13515-13522, nov. 1996.

SUDÉRIO, Fabrício B. *et al.* Tecnologias na educação: análise do uso e concepções no ensino de biologia e na formação docente. **Revista da SBEnBio**, n. 7, out., 2014.

TAVARES, Romero. Aprendizagem significativa, codificação dual e objetos de aprendizagem. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 18, n. 2, p. 4-16, 2010.

_____. Aprendizagem significativa e o ensino de ciências. **Ciências & Cognição**, v. 13, n. 1, p. 94-100, 2008.

TEMP, Daiana S.; CARPILOVSKY, Cristiane K.; GUERRA, Leonan. Cromossomos, gene e DNA: utilização de modelo didático. **Revista Genética na Escola**, v. 6, n. 1, p. 9-11, 2011.

TEMP, Daiana S.; NICOLETTI, Elenize R.; BARTHOLOMEI-SANTOS, Marlise L. Identificando o conhecimento de genética entre calouros universitários. **Revista da SBEnBio**, n. 7, p. 1441-1451, out. 2014.

TEMP, Daiana S.; OLEQUES, Luciane C.; BARTHOLOMEI-SANTOS, Marlise L. Livros Didáticos de Biologia: análise dos recursos pedagógicos auxiliares para a aprendizagem de genética. **Revista Ensino de Ciências**, v. 4, n. 2, p. 1-16, jul/dez. 2013.

TODOROV, João Cláudio; MOREIRA, Márcio B. O conceito de motivação na Psicologia. **Rev. Bras. de Ter. Comp. Cogn**, v. 7, n. 1, p. 119-132, 2005.

TONI, Plínio M.; ROMANELLI, Egídio J.; SALVO, Caroline G. Evolução da neuropsicologia: da antiguidade aos tempos modernos, **Psicologia Argumento**, Curitiba, v. 23, n. 41 p. 47-55, abr./jun. 2005.

TSUI, Chi-Yan; TREAGUST, David F. Conceptual change in learning genetics: an ontological perspective. **Research in Science & Technological Education**, v. 22, n. 2, nov. 2004.

_____. Evaluating secondary students' scientific reasoning in genetics using a two-tier diagnostic instrument. **International Journal of Science Education**, v. 32, n. 8, p.1073-1098, may 2010.

VENTURA, Dora F. Um retrato da área de neurociência e comportamento no Brasil. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, Brasília, v. 26, n. especial, p. 123-129, 2010.

VENVILLE, Grady J.; TREAGUST, David F. Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 35, p. 1031–1055, dec. 1998.

VILAS-BOAS, Adlane. Conceitos errôneos de genética em livros didáticos do ensino médio. **Genética na Escola**, v. 1, n. 1, p. 09-11, 2006.

VLCKOVA, Jana; KUBIATKO, Milian; USAK, Muhammet. Czech high school students' misconceptions about basic genetic concepts: preliminary results. **Journal of Baltic Science Education**, v.15, n. 6, p. 738-745, 2016.

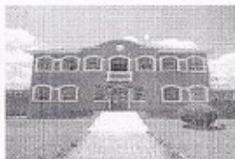
ZENORINI, Rita P. C. **Estudos para a construção de uma escala de avaliação da motivação para aprendizagem – EMAPRE**. 2007. 138f. Tese (Doutorado em Psicologia) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Psicologia, Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.

ZENORINI, Rita P. C.; SANTOS, Acácia A. A. Escala de metas de realização como medida da motivação para aprendizagem. **Interamerican Journal of Psychology**, v. 44, n. 2, 2010, p. 291-298, 2010.

ZENORINI, Rita P. C.; SANTOS, Acácia A. A.; MONTEIRO, Rebecca M. Motivação para aprender: relação com o desempenho de estudantes. **Paidéia**, Ribeirão Preto, v. 21, n. 49, p. 157-164, mai. /ago. 2011.

ZULL, James E. **The art of changing the brain**: Enriching the practice of teaching by exploring the biology of learning. Sterling, VA: Stylus Publishing, 2002.

APÊNDICE A – Termo de Autorização Institucional



COLÉGIO ESTADUAL PROFESSOR JÚLIO CÉSAR
ENSINO FUNDAMENTAL, MÉDIO E NORMAL
 E-mail: rebjuliocesar@seed.pr.gov.br
 SITE: rebjuliocesar.seed.pr.gov.br
 AVENIDA ANTONIO FRANCO SOBRINHO, 419
 TEL: (42) 3457-1276
 REBOUÇAS – PARANÁ

TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Eu, WESLEY MOLINARI, diretor do Colégio Estadual Professor Júlio César do município de Rebouças-PR, declaro que estou ciente dos objetivos da pesquisa intitulada Programa Neurocientífico para a Aprendizagem Significativa de Genética, relacionada à tese de Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR), de autoria do pesquisador FABIO SEIDEL DOS SANTOS. Para tanto, autorizo a execução desse trabalho nesta instituição, considerando que o projeto deverá passar por avaliação pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da UTFPR.

Rebouças, 06 de março de 2015.

Prof. WESLEY MOLINARI

Diretor

WESLEY MOLINARI
 DIRETOR - RG 4.100.491-5
 RES. Nº 771/2014-DOE.19/02/2014

Avenida Antonio Franco Sobrinho, 419
 Fone/ Fax (042) 3457-1276
 Site: <http://www.rebjuliocesar.seed.pr.gov.br> E-mail: rebjuliocesar@seed.pr.gov.br

APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Câmpus de Ponta Grossa
 Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Título da pesquisa: Programa Neurocientífico para a Aprendizagem Significativa de Genética.

Pesquisador (es), com endereços e telefones:

MSc. Fabio Seidel dos Santos, Mestre em Ciências Biológicas, doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Tecnologia da UTFPR - Câmpus Ponta Grossa. Av. Monteiro Lobato, s/n, Km 04, Ponta Grossa-PR. Telefone: (42) 3235-7018.

Endereço residencial: Rua: Abdala Miguel Sarraff nº 582, Rebouças-PR.

Telefones: (42) 3457-1398 / (42) 9875-3000.

Orientadores responsáveis:

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco¹

Coorientadora: Prof.^a Dra. Angela Ines Klein²

¹Pós-Doutor em Engenharia de Produção e Professor do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Tecnologia (M/D), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Ponta Grossa. Email: acfrancisco@utfpr.edu.br.

²Doutora em Linguística Aplicada, Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Ponta Grossa. Email: angelaklein@utfpr.edu.br. Av. Monteiro Lobato, s/n, Km 04, Ponta Grossa-PR. Telefone: (42) 3220-4822.

Local da Pesquisa: Colégio Estadual Professor Júlio César – Rebouças-PR.

Endereço, telefone do local: Rua Antônio Franco Sobrinho, 419, Rebouças-PR.

Fone (42) 3457-1276.

A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

1. Apresentação da pesquisa

Senhores pais ou responsáveis,

Através desta, gostaríamos de explicar-lhes que realizaremos um trabalho de pesquisa com alunos que frequentam o terceiro ano do Ensino Médio, período da manhã, do Colégio Estadual Professor Júlio César do município de Rebouças-PR. A pesquisa relaciona-se à tese de Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR) do referido pesquisador.

Esta pesquisa envolve o ensino de genética, o qual é sempre um desafio para os professores de Biologia. Trata-se de um conteúdo altamente complexo e abstrato, cujas ideias e conceitos costumam ser decorados pelos alunos ao invés de compreendidos e relacionados com as situações cotidianas.

O entendimento deste conteúdo é essencial para a compreensão de temas ainda mais complexos tanto desta área quanto de biologia molecular, bem como para um posicionamento crítico diante das tecnologias emergentes destas áreas, as quais muitas vezes suscitam questionamentos éticos, morais, políticos, religiosos e econômicos, negligenciados pelos cientistas e desconhecidos pela sociedade em geral.

Dada à complexidade do conteúdo de Genética, professores vêm empregando estratégias de ensino bastante variadas, com o objetivo de tornar o conteúdo de Genética mais interessante e simples de ser compreendido. Pesquisas apontam que, para o ensino de conteúdos complexos, são necessárias estratégias pedagógicas alternativas que contribuam para um aprendizado mais duradouro, significativo e não mecânico ou automático. Diante disso, acredita-se que um programa contendo estratégias pedagógicas fundamentadas no conhecimento neurocientífico, pode ser uma ferramenta importante para complementar a prática pedagógica tradicional e facilitar a aprendizagem significativa de conceitos de genética no ensino médio.

2. Objetivos da pesquisa.

O principal objetivo da presente pesquisa é verificar a contribuição da Neurociência para a aprendizagem significativa de genética no ensino médio. Deste objetivo geral, decorrem os seguintes objetivos específicos:

- Verificar os conhecimentos prévios dos participantes acerca dos conceitos

básicos de genética, citologia e biologia molecular.

- Avaliar o interesse dos alunos pelos temas da área de genética.
- Desenvolver e aplicar um programa de ensino de genética fundamentado no conhecimento neurocientífico.
- Promover o interesse e aprendizagem significativa de conceitos de genética.

3. Participação na pesquisa.

A pesquisa envolverá alunos de duas turmas (3^aA e 3^aB), que serão divididas através de sorteio, em dois grupos:

1. Grupo Controle (CT): aproximadamente 35 alunos. (1 turma)
2. Grupo Experimental (GE): aproximadamente 35 alunos (1 turma)

O trabalho será desenvolvido durante as aulas de genética, conteúdo que integra a disciplina de Biologia. Envolverá a maioria das aulas deste conteúdo (aproximadamente dois bimestres), entre setembro a dezembro de 2015.

Para satisfazer os objetivos deste estudo, o processo de pesquisa será dividido em três momentos: (1) coleta de dados, (2) aplicação do programa neurocientífico de ensino e (3) avaliação dos resultados. Na coleta de dados, o pesquisador deverá obter dados pessoais gerais (comuns a todas as pesquisas, por exemplo, nome, idade, entre outros), dados sócio-econômicos e demográficos, além dos conhecimentos prévios dos alunos acerca dos conceitos fundamentais de Genética e Biologia Molecular, e sua motivação para a aprendizagem. Após, na segunda etapa, será aplicado no Grupo Experimental (GE) um programa complementar de ensino fundamentado no conhecimento neurocientífico. O Grupo Controle (CT) receberá os conteúdos de forma tradicional. Por fim, na terceira etapa, será realizada a avaliação dos resultados, buscando avaliar a aprendizagem dos conceitos de Genética e a percepção dos alunos sobre o programa de ensino empregado.

A intervenção ocorrerá dentro da própria escola, em sala de aula, supervisionada pelo professor da disciplina de Biologia, com a respectiva autorização institucional, não devendo acarretar em danos ao andamento normal das atividades curriculares.

4. Confidencialidade.

As informações obtidas através dos instrumentos (entrevistas, questionários e testes) serão de caráter confidencial; a elas só terão acesso o pesquisador e os orientadores, que analisarão os dados do ponto de vista estatístico. Com isso, pretendemos manter o caráter científico, ético e profissional da referida pesquisa.

5. Desconfortos, Riscos e Benefícios.

5a) Desconfortos e ou Riscos:

Em princípio, o maior incômodo a que seu filho será submetido é o de compartilhar algumas informações pessoais básicas com o pesquisador e preencher questionários e testes específicos. Ressalta-se a garantia de assistência total em qualquer dano à integridade física ou psicológica decorrente da pesquisa.

5b) Benefícios:

Esta pesquisa poderá contribuir para a aprendizagem significativa de conceitos básicos de genética, cujo entendimento é fundamental para a compreensão de conteúdos ainda mais complexos desta área e de Biologia Molecular, bem como para um posicionamento crítico diante das tecnologias emergentes destas áreas (terapia com células tronco, clonagem, transgênicos entre outras), as quais suscitam questionamentos éticos, morais, políticos, religiosos e econômicos, muitas vezes negligenciados pelos cientistas e desconhecidos pela sociedade em geral. Além disso, o participante terá a oportunidade de participar de um trabalho científico, pois esta pesquisa relaciona-se a tese de Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR) do referido pesquisador.

6. Critérios de inclusão e exclusão.

6a) Inclusão: alunos de duas turmas do 3º ano (período da manhã) do ensino médio do Colégio Estadual Professor Júlio César do município de Rebouças-PR.

6b) Exclusão: os alunos que não entregarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido ou Termo de Assentimento Informado Livre e Esclarecido.

7. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.

O participante tem a liberdade de recusar na participação de qualquer atividade ou abandonar a pesquisa em qualquer momento, sem qualquer forma de penalização. Durante todo o processo de pesquisa, o participante ou seus pais/responsáveis poderão tirar qualquer dúvida, sendo necessário apenas que entre em contato por telefone ou e-mail com o pesquisador responsável pelo trabalho.

8. Ressarcimento ou indenização.

Caso haja a necessidade de ressarcimento e/ou indenização decorrente da pesquisa, estes serão de responsabilidade da equipe/instituição que fará o acompanhamento e se encarregará de seus custos.

B) CONSENTIMENTO

Declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos e benefícios deste estudo, e permito que meu filho (a) _____ participe desta pesquisa. Este termo de consentimento será redigido em duas vias, ficando uma com o pesquisador e outra com o sujeito da pesquisa.

Nome completo: _____

RG: _____ Data de Nascimento: ___/___/____ Telefone: _____

Endereço: _____

CEP: _____ Cidade: _____ Estado: _____

Data: ___/___/____

Assinatura: _____

Eu Fabio Seidel dos Santos, declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Nome completo: Fabio Seidel dos Santos

Assinatura do pesquisador

Data: 18/09/15

Para todas as questões relativas a esta pesquisa, poderão se comunicar com Fabio Seidel dos Santos, via e-mail: fabioseidel@gmail.com ou telefone: (42) 3457 1398 ou 9875 3000.

Endereço do Comitê de Ética em Pesquisa para recurso ou reclamações do sujeito pesquisado.

Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR). REITORIA: Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, telefone: (41) 3310-4943, e-mail: coep@utfpr.edu.br.

OBS: este documento deve conter duas vias iguais, sendo uma pertencente ao pesquisador e outra ao sujeito de pesquisa.

APÊNDICE C – Termo de Assentimento Informado Livre e Esclarecido



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Câmpus de Ponta Grossa
 Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**



TERMO DE ASSENTIMENTO

TERMO DE ASSENTIMENTO INFORMADO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Projeto: Programa Neurocientífico para a Aprendizagem Significativa de Genética.

Investigador: MSc. Fabio Seidel dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco.

Coorientadora: Prof.^a Dra. Angela Ines Klein.

Instituição dos pesquisadores: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Av. Monteiro Lobato, s/n, Km 04, Ponta Grossa-PR. Telefone: (42) 3220-4822.

Local da Pesquisa: Colégio Estadual Professor Júlio César – Rebouças-PR.

Endereço: Rua Antônio Franco Sobrinho, 419, Fone (42) 3457-1276.

O que significa assentimento?

O assentimento significa que você concorda em fazer parte de um grupo de adolescentes, da sua faixa de idade, para participar de uma pesquisa. Serão respeitados seus direitos e você receberá todas as informações por mais simples que possam parecer.

Pode ser que este documento denominado TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO contenha palavras que você não entenda. Por favor, peça ao responsável pela pesquisa ou à equipe do estudo para explicar qualquer palavra ou informação que você não entenda claramente.

O que é uma pesquisa?

Pesquisar significa procurar ou buscar respostas para uma determinada coisa. Cientificamente, pesquisar, portanto, é um procedimento racional e sistemático desenvolvido por cientistas, cujo objetivo é proporcionar respostas aos problemas que

são propostos. O conhecimento científico é produzido através de uma pesquisa, que é o caminho para se chegar à ciência, ao conhecimento (KAUARK, MANHÃES, MEDEIROS, 2010).

A pesquisa é um processo que envolve inúmeras fases (formulação do problema, hipótese, coleta de dados, avaliação e apresentação dos resultados, entre outros), sendo desenvolvida mediante a utilização de conhecimentos disponíveis e a utilização cuidadosa de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos (GIL, 2002).

Para que fazer uma pesquisa?

As razões para se realizar uma pesquisa são diversas. Contudo, pode-se identificar razões de ordem intelectual, prática ou ambas.

A presente pesquisa possui razões intelectuais (desejo de conhecer pela própria satisfação de conhecer), bem como razões de ordem prática, ou seja, contribuir na busca de soluções para o problema proposto, neste caso, as dificuldades encontradas no processo de ensino e aprendizagem de genética no ensino médio.

Objetivos desta pesquisa:

Esta pesquisa tem como principal objetivo verificar a contribuição da Neurociência para a Aprendizagem Significativa de Genética no Ensino Médio. Deste objetivo geral, decorrem os seguintes objetivos específicos:

- Verificar os conhecimentos prévios dos participantes acerca dos conceitos básicos de genética, citologia e biologia molecular.
- Avaliar o interesse dos alunos pelos temas da área de genética.
- Desenvolver e aplicar um programa de ensino de genética fundamentado no conhecimento neurocientífico.
- Promover o interesse e aprendizagem significativa de conceitos de genética.

Como será feita?

O trabalho será desenvolvido durante as aulas de genética. Envolverá a maioria das aulas deste conteúdo (aproximadamente dois bimestres), no período de setembro a dezembro de 2015.

A pesquisa envolverá duas turmas (3^aA e 3^aB), que serão divididas através de sorteio, pelo pesquisador, em dois grupos:

1. Grupo Controle (CT): aproximadamente 35 alunos. (1 turma)
2. Grupo Experimental (GE): aproximadamente 35 alunos (1 turma)

Para satisfazer os objetivos do estudo, o processo de pesquisa será dividido em três momentos: (1) coleta de dados, (2) aplicação do programa neurocientífico de ensino e (3) avaliação dos resultados. Na coleta de dados, o pesquisador deverá obter dados pessoais gerais (comuns a todas as pesquisas, por exemplo, nome, idade, entre outros), dados sócio-econômicos e demográficos, além dos conhecimentos prévios dos alunos acerca dos conceitos fundamentais de Genética e Biologia Molecular, e sua motivação para a aprendizagem. Após, na segunda etapa, será aplicado no Grupo Experimental (GE) um programa complementar de ensino fundamentado no conhecimento neurocientífico. O Grupo Controle (CT) receberá os conteúdos de forma tradicional. Por fim, na terceira etapa, será realizada a avaliação dos resultados, buscando avaliar a aprendizagem dos conceitos de Genética e a percepção dos alunos sobre o programa de ensino empregado.

A intervenção ocorrerá dentro da própria escola, em sala de aula, supervisionada pelo professor da disciplina de Biologia, com a respectiva autorização institucional, não devendo acarretar em danos ao andamento normal das atividades curriculares.

Em princípio, o maior incômodo a que você será submetido é o de compartilhar algumas informações pessoais básicas com o pesquisador e preencher questionários e testes específicos. Ressalta-se a garantia de assistência total em qualquer dano à integridade física ou psicológica decorrente da pesquisa, bem como a liberdade de recusar em participar de qualquer atividade ou abandonar a pesquisa em qualquer momento.

As informações obtidas através dos instrumentos (entrevistas, questionários e testes) serão de caráter confidencial; a elas só terão acesso o pesquisador e os orientadores, que analisarão os dados do ponto de vista estatístico. Com isso, pretendemos manter o caráter científico, ético e profissional da referida pesquisa.

Esta pesquisa poderá contribuir para a aprendizagem significativa de conceitos básicos de genética, cujo entendimento é fundamental para a compreensão de conteúdos ainda mais complexos de Genética e Biologia Molecular, bem como para um posicionamento crítico diante das tecnologias emergentes destas áreas (terapia com células tronco, clonagem, transgênicos entre outras), as quais suscitam questionamentos éticos, morais, políticos, religiosos e econômicos, muitas vezes negligenciados pelos cientistas e desconhecidos pela sociedade em geral. Além disso, o participante terá a oportunidade de participar de um trabalho científico, pois esta pesquisa relaciona-se a tese de Doutorado em Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR) do referido pesquisador.

Contato para dúvidas

Se você ou os responsáveis por você tiver (em) dúvidas com relação ao estudo, direitos do participante, ou no caso de riscos relacionados ao estudo, você deve contatar o(a) Investigador(a) do estudo ou membro de sua equipe: _____, telefone fixo número: _____ e celular _____. Se você tiver dúvidas sobre seus direitos como um paciente de pesquisa, você pode contatar o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O CEP é constituído por um grupo de profissionais de diversas áreas, com conhecimentos científicos e não científicos que realizam a revisão ética inicial e continuada da pesquisa para mantê-lo seguro e proteger seus direitos.

DECLARAÇÃO DE ASSENTIMENTO DO SUJEITO DA PESQUISA:

Eu li e discuti com o investigador responsável pelo presente estudo os detalhes descritos neste documento. Entendo que eu sou livre para aceitar ou recusar, e que posso interromper a minha participação a qualquer momento sem dar uma razão. Eu concordo que os dados coletados para o estudo sejam usados para o propósito acima descrito.

Eu entendi a informação apresentada neste TERMO DE ASSENTIMENTO. Eu tive a oportunidade para fazer perguntas e todas as minhas perguntas foram respondidas.

Eu receberei uma cópia assinada e datada deste Documento DE ASSENTIMENTO INFORMADO.

NOME DO ADOLESCENTE	ASSINATURA	DATA
---------------------	------------	------

NOME DO INVESTIGADOR	ASSINATURA	DATA
----------------------	------------	------

Endereço do Comitê de Ética em Pesquisa para recurso ou reclamações do sujeito pesquisado

Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR) REITORIA: Av. Sete de setembro, 3165, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, telefone: 3310-4943, e-mail: coep@utfpr.edu.br

Referencias

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

KAUARK, Fabiana da S.; MANHÃES, Fernanda C.; MEDEIROS, Carlos H. **Metodologia da pesquisa**: um guia prático. Itabuna – BA: Via Litterarum Editora, 2010.

APÊNDICE D – Questionário Avaliativo Inicial

QUESTIONÁRIO AVALIATIVO INICIAL

Nome: _____

Idade: _____ **Sexo:** M() F()

Estado civil: _____

Reside em: zona urbana () zona rural ().

Possui casa própria? () sim () não.

Renda familiar mensal: () 1 salário mínimo () 2-3 salários mínimos () 4-5 salários mínimos () mais de 5 salários mínimos.

Quantas horas por semana você se dedica ao estudo de Biologia?

() menos de uma hora

() de 1h a 2h

() de 2h a 3h

() de 3h a 4h

() mais de 4h

Quais dos assuntos biológicos científicos despertam seu interesse:

() Mapeamento Genético.

() Clonagem.

() Organismos geneticamente modificados (transgênicos).

() Síndromes Genéticas.

() Células-tronco.

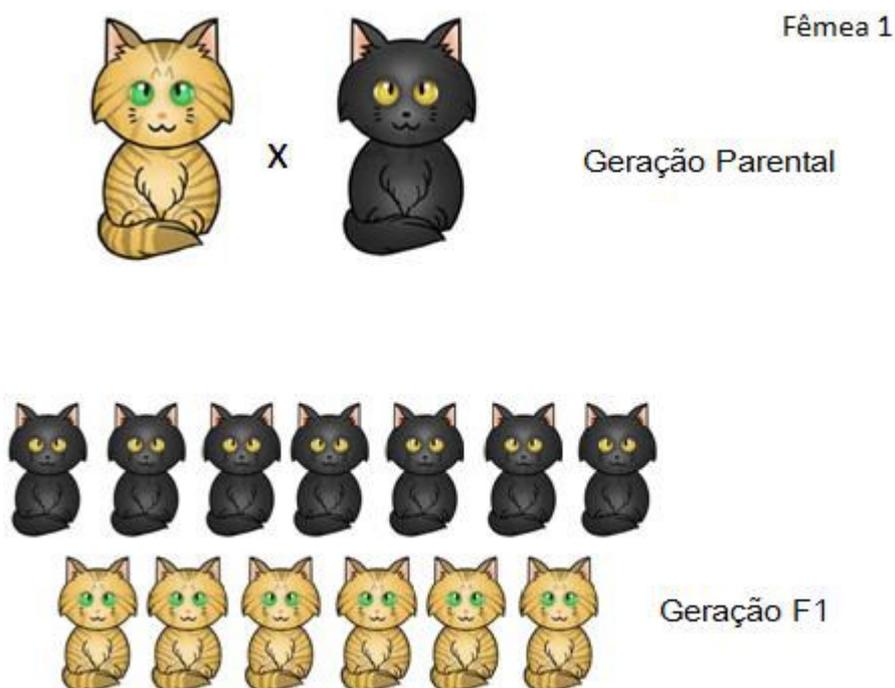
() Outros. Quais: _____

() Não tenho interesse por assuntos biológicos científicos.

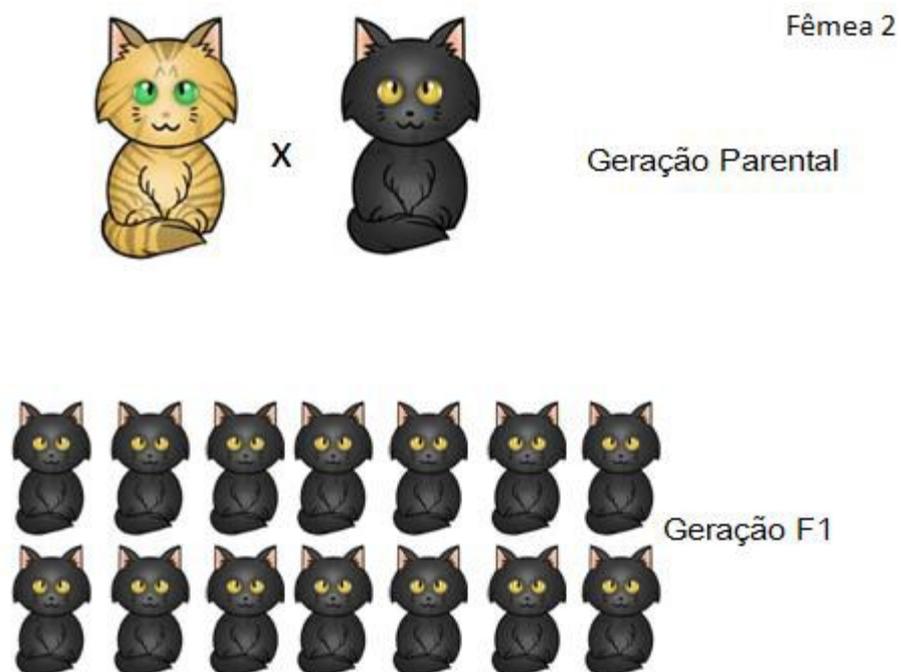
APÊNDICE E – Atividades para o estudo do genótipo e fenótipo.

Um gato da cor marrom foi cruzado com duas fêmeas. A primeira fêmea era da cor preta, e teve 7 filhotes da cor preta e 6 filhotes da cor marrom. Já a outra fêmea, também era da cor preta, e teve 14 filhotes, sendo todos eles da cor preta. Determine:²²

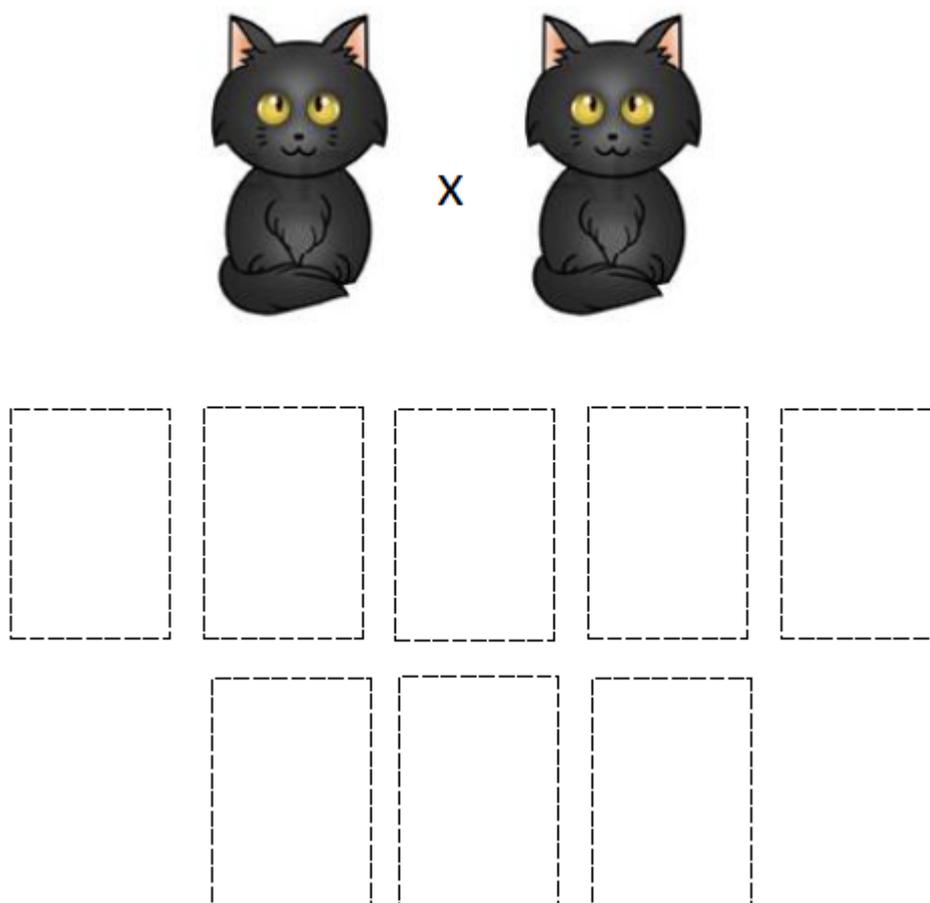
a) Genótipo do macho, da primeira e da segunda fêmea respectivamente.



²² Fonte: BRASIL ESCOLA. **Exercícios sobre a Primeira Lei de Mendel**. Disponível em: <<https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-biologia/exercicios-sobre-primeira-lei-mendel.htm>>. Acesso em: 03 jul. 2015.

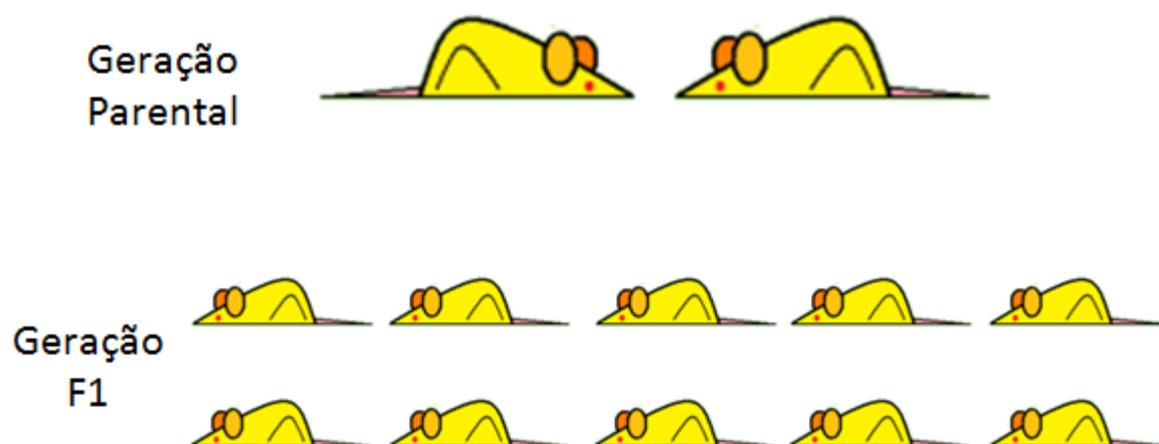


b) Probabilidade de nascerem filhotes marrons a partir do cruzamento de gatos pretos híbridos.

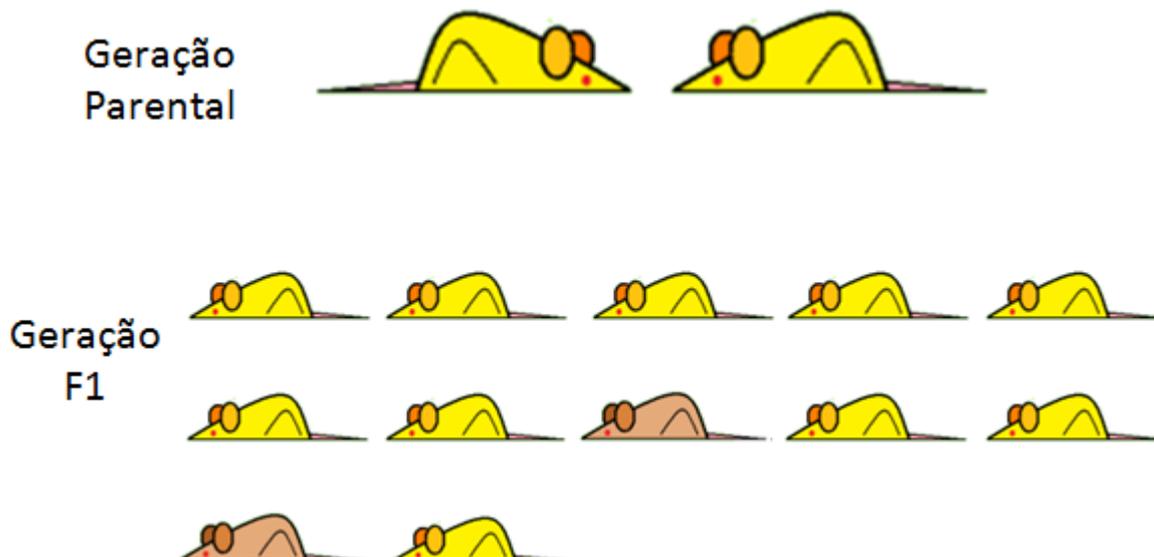


Em camundongos a cor amarela é dominante em relação a cor marrom. Um camundongo amarelo cruzou com duas fêmeas amarelas. Com a fêmea 1, produziu 10 descendentes, todos amarelos. Com a fêmea 2, produziu 12 descendentes, sendo 10 amarelos e 2 marrons. Determine o genótipo da geração parental.

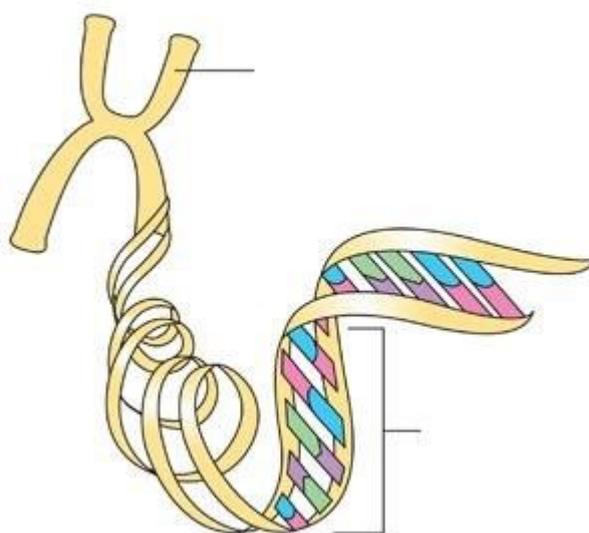
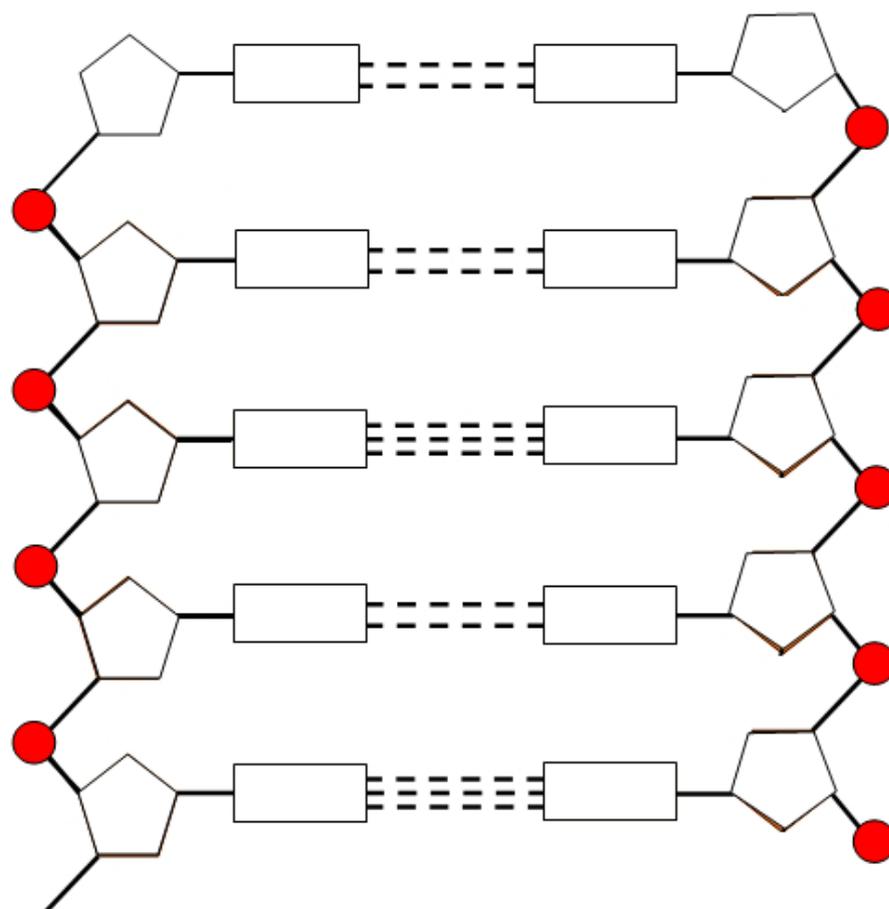
Fêmea 1



Fêmea 2

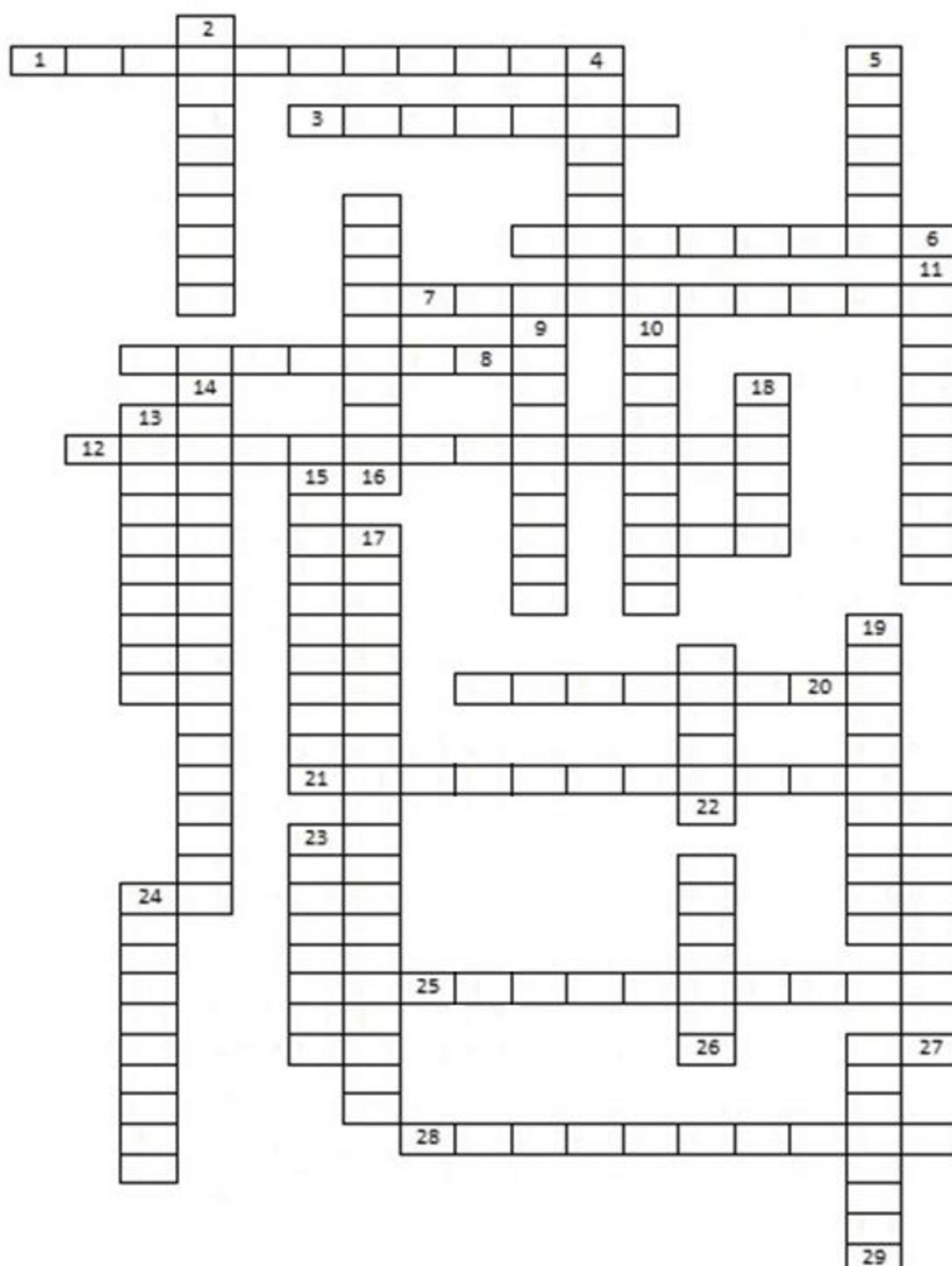


APÊNDICE F – DNA e cromossomo



Fonte: CANCER RESEARCH UK. **Diagram of a gene on a chromosome.** Disponível em: < <http://www.cancerhelp.org.uk/about-cancer/what-is-cancer/body/genes-and-dna#what>>. Acesso em: 30 abr 2015.

APÊNDICE G – Palavra cruzada



1. Células $2n$, ou seja, que apresentam dois conjuntos completos de cromossomos, sendo um de origem paterna e um de origem materna.
2. Segundo esta teoria, todas as partes do organismo produziam partículas denominadas "gêmulas" que circundavam pelo corpo e seriam reunidas nas gônadas.
3. Representa o local onde se encontra a maior parte do DNA (em organismos eucariontes)

4. Representa o conjunto de características físicas e comportamentais determinadas pelos genes e influenciadas pelo ambiente.
5. São genes que ocupam a mesma posição em cromossomos homólogos.
6. São cromossomos que determinam o sexo do indivíduo. São encontrados em todas as células.
7. Filamento de DNA longo e fino, associado a proteínas, localizado no núcleo da célula interfásica.
8. Considerado o pai da genética, descobriu as leis da hereditariedade.
9. Representa o conjunto cromossômico de uma espécie. Em humanos: 46, XX (mulher), 46, XY (homem).
10. São cromossomos iguais entre si, e apresentam os genes para as mesmas características.
11. Cromossomos relacionados as características comuns aos dois sexos (22 pares em humanos).
12. Indivíduo que apresenta alelos diferentes para uma determinada característica. Ex: Aa, Bb.
13. Células n, ou seja, que apresentam somente um conjunto de cromossomos.
14. Segundo esta teoria, os seres vivos podiam surgir espontaneamente a partir da transformação de matéria inanimada.
15. Organismo utilizado na descoberta de que os genes estavam localizados nos cromossomos.
16. Gene que só manifesta uma determinada característica quando aparece em dose dupla.
17. Unidades que, segundo Mendel, condicionam as características hereditárias.
18. Local ocupado pelo gene no cromossomo.
19. Formado por DNA altamente condensado + proteínas.
20. Processo de divisão celular responsável pela formação dos gametas.
21. Indivíduo que apresenta alelos iguais para uma determinada característica. Ex: AA, aa...
22. Segmento ou trecho de DNA que codifica a produção de uma proteína.
23. Material biológico usado por Mendel em seus experimentos.
24. Corresponde a cada um dos filamentos de um cromossomo duplicado. Representa o braço do cromossomo.
25. Teoria pela qual as estruturas de um novo ser surgem a medida que ocorre o desenvolvimento embrionário.
26. Representa o número de genes de uma espécie.
27. Constituição genética de um indivíduo.
28. Gene que manifesta uma determinada característica mesmo estando em dose simples.
29. Teoria segundo a qual os filhos apresentam uma combinação das características dos pais.

APÊNDICE H – Atividade sobre a Segunda Lei de Mendel
Adaptada de Santos *et al.* (2014)

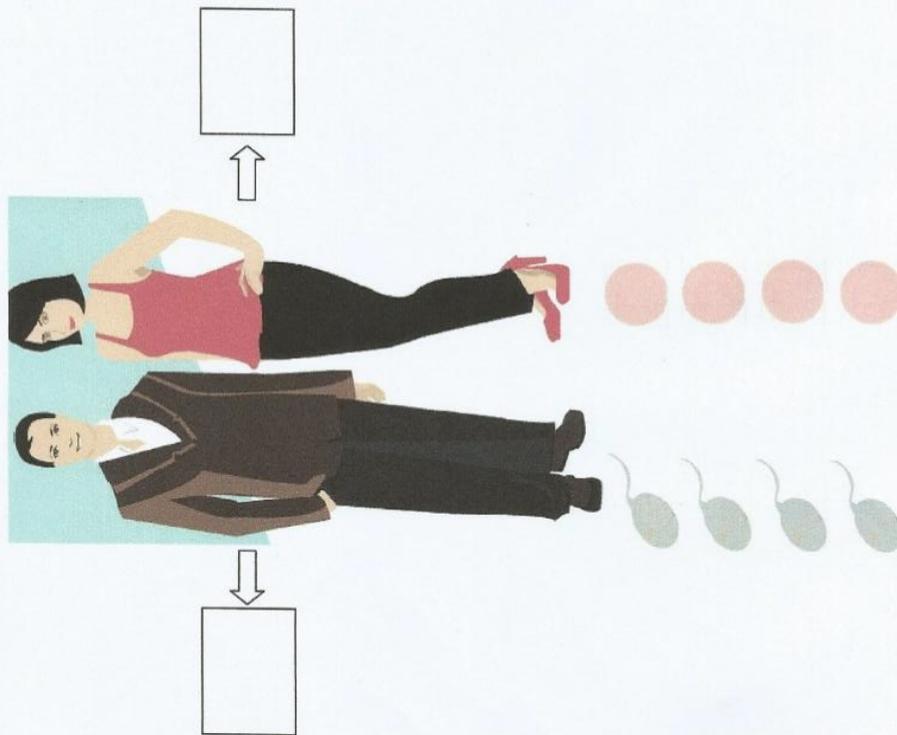
Estes são Pedro e Lúcia. Podemos perceber que os caracteres cor de cabelos e cor de olhos variam entre eles. Pedro apresenta o fenótipo **cabelos loiros e olhos castanhos**, enquanto Lúcia apresenta o fenótipo **cabelos pretos e olhos azuis**.

O caráter "cor dos olhos" é determinado pelo alelo dominante **A** e seu recessivo **a**. O alelo **A** determina a cor castanha dos olhos de Pedro. O caráter "cor do cabelo", neste caso, é determinado pelos alelos **L** e **l**. Os cabelos loiros de Pedro é uma característica recessiva. Determine o genótipo de Pedro e Lúcia, sabendo que ambos são homocigotos para as características mencionadas.

Pedro e Lúcia pretendem ter filhos. Determine como poderiam ser os filhos (ou filhas) do casal (geração parental):

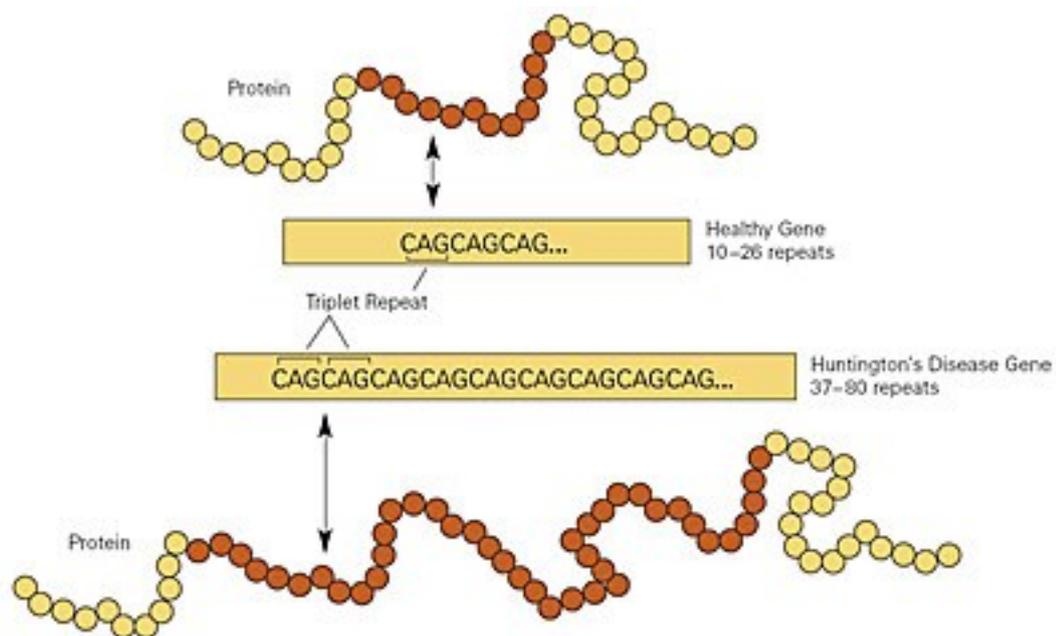
♂	♀				

Maria, filha de Pedro e Lúcia, casou-se com João e resolveu dar netinhos aos seus pais. João, coincidentemente, possui o mesmo fenótipo e genótipo (para a cor dos olhos e cabelos) de Maria. Determine como poderiam ser os filhos (ou F₁) do casal (geração parental):



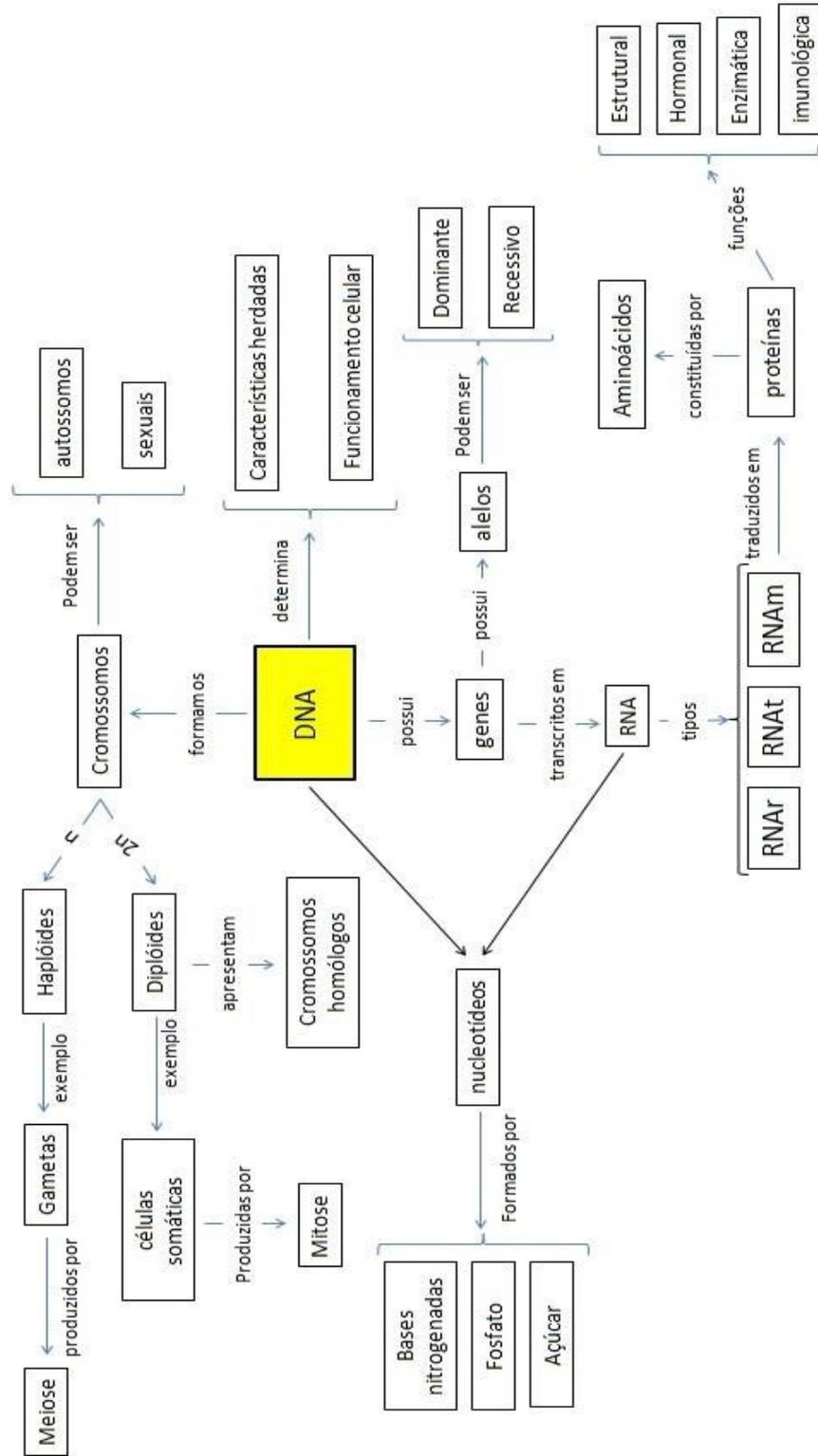
ÓVULOS ESPERMATÓZÓIDES								

APÊNDICE I – Huntinina



Fonte: NATIONAL INSTITUTE OF GENERAL MEDICAL SCIENCES, NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. **Gene from Huntington's disease patient.** Disponível em: <<https://www.nist.gov/image-17588>>. Acesso em: 03 ago. 2015.

APÊNDICE J – Mapa Conceitual



APÊNDICE L – Jogo das 3 Pistas – Dicas e Resposta

Jogo das 3 Pistas – Dicas e Resposta

(10 pontos). Responsável pela produção dos gametas masculino e feminino.

(9 pontos). Ocorre apenas nas células germinativas.

(8 pontos). É um processo de divisão celular que produz quatro células-filhas com a metade do número de cromossomos da célula-mãe.

Resposta: MEIOSE

(10 pontos). Está ligada à multiplicação celular, reposição celular, formação de tecidos e órgãos.

(9 pontos). Responsável por manter o mesmo número de cromossomos em todas as células somáticas do organismo.

(8 pontos). É um processo de divisão celular pelo qual uma célula diploide (2n) origina duas células-filhas diploides geneticamente idênticas.

Resposta: MITOSE

(10 pontos). Moléculas complexas formadas pela associação de aminoácidos.

(9 pontos). Tem função estrutural, hormonal, enzimática, imunológica e de transporte.

(8 pontos). Podem representar o produto final da expressão de um gene.

Resposta: PROTEÍNAS

(10 pontos). Célula originada a partir da fusão dos núcleos haploides de um espermatozoide (n) e de um óvulo (n).

(9 pontos). É uma célula diploide (2n) que sofre mitoses consecutivas para gerar um organismo.

(8 pontos). É a primeira célula de um futuro organismo.

Resposta: ZIGOTO

(10 pontos). Possuem genes envolvidos nas características sexuais da maioria dos organismos.

(9 pontos). No homem são representados pelas letras XY; na mulher pelas letras XX.

(8 pontos). Os espermatozoides podem apresentar X ou Y, os óvulos somente X.

Resposta: CROMOSSOMOS SEXUAIS

 (10 pontos). São visualizados no núcleo da célula em processo de divisão.

(9 pontos). São constituídos de DNA altamente condensado + proteínas.

(8 pontos). Seu conjunto é denominado “genoma”.

Resposta: CROMOSSOMOS

 (10 pontos). São células que apresentam dois conjuntos completos de cromossomos homólogos.

(9 pontos). Os neurônios, os hepatócitos e os adipócitos representam esse tipo celular.

(8 pontos). Também são chamadas de “células 2n”.

Resposta: CÉLULAS DIPLOIDES

 (10 pontos). São células que apresentam em seu núcleo somente um cromossomo de cada par.

(9 pontos). Representam somente os gametas de um organismo.

(8 pontos). Também são chamadas de “células n”.

Resposta: CÉLULAS HAPLOIDES

 (10 pontos). Estão presentes aos pares no núcleo das células somáticas.

(9 pontos). Apresentam alelos para uma mesma característica.

(8 pontos). Um é de origem paterna e outro de origem materna.

Resposta: CROMOSSOMOS HOMÓLOGOS

 (10 pontos). Possuem genes relacionados às características comuns aos dois sexos.

(9 pontos). A espécie humana apresenta 22 pares destes em suas células somáticas.

(8 pontos). São designados através de um número, por exemplo, 18, 21 etc.

Resposta: CROMOSSOMOS AUTOSSOMOS

 (10 pontos). Apresenta células somáticas com 44 cromossomos autossomos e 2 cromossomos sexuais.

(9 pontos). Seu cariótipo é representado pela fórmula $2n = 44 + XX$ ou $46, XX$.

(8 pontos). Produz óvulos com 23 cromossomos.

Resposta: MULHER

(10 pontos). A.....afirma que um gene carrega e transmite informações hereditárias.

(10 pontos). A.....nos diz que um gene é uma sequência do DNA que codifica a produção de um polipeptídeo ou RNA.

(10 pontos). Na.....o gene é considerado uma unidade da herança ou hereditariedade que não apresenta uma relação direta com uma estrutura física.

Resposta: CONCEPÇÃO INFORMACIONAL, MOLECULAR CLÁSSICA E MENDELIANA DO GENE.

Obs: Esse último exemplo difere-se dos anteriores pelo fato de que o aluno precisa descobrir a palavra correta para cada sentença. Assim, em uma competição Pedro x Eduardo (nomes fictícios), por exemplo, se Pedro for previamente sorteado, deverá iniciar respondendo a primeira sentença. Em caso de acerto, ele receberá 10 pontos; e em caso de erro, passa a chance de responder para seu concorrente. Vale lembrar que, mesmo que Pedro acerte a sentença, a próxima deverá ser respondida pelo seu concorrente, neste caso o aluno Eduardo. As sentenças que não foram respondidas pela dupla de competidores serão atribuídas aos membros da plateia.

ANEXO A – Questionário para Avaliação de Conhecimentos Prévios
Adaptado de Paiva e Martins (2005)

Questionário para Avaliação de Conhecimentos Prévios
Adaptado de Paiva e Martins (2005)

Leia atentamente e analise as frases a seguir. Reescreva de outra forma aquelas das quais você discorda e responda as perguntas.

- 1) Os cientistas afirmam que: “um clone de Mozart não será um novo Mozart, nem de Hitler um novo Hitler”.
- 2) Cromossomos sexuais são encontrados nas células da pele humana.
- 3) Cada cromossomo contém apenas um gene.
- 4) Cada célula interfásica do nosso corpo tem 46 moléculas de DNA.
- 5) Quanto maior o número de cromossomos, mais evoluída é a espécie?
- 6) É impossível um ser humano fazer uma refeição cotidiana sem comer DNA.
- 7) A quantidade de DNA nos seres vivos é a mesma? Por que você pensa assim?
- 8) Os cientistas conseguiram identificar o código genético da espécie humana. Para você, isto seria suficiente para se fazer uma previsão de como um indivíduo vai ser no futuro? Explique sua resposta.
- 9) Já foi comprovado que o genoma humano tem uma similaridade de 99% com o do chimpanzé. Então, como você acha que pode ser possível identificar indivíduos e se determinar a paternidade através do DNA?
- 10) Um exame de DNA para averiguação de paternidade pode ser feito com qualquer tipo de material biológico de uma pessoa. Justifique.

ANEXO B – Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem – Learning Approach
Questionnaire (LAQ)

Questionário sobre o Estilo de Aprendizagem – Learning Approach Questionnaire (LAQ)

Nome:.....Série.....

Escolha a resposta que melhor lhe descreve a partir da lista abaixo. Escreva sua resposta na linha ao lado da questão ou item.

Nunca = A	Raramente = B	Quase Sempre = C	Sempre = D
5__	5. Eu geralmente me esforço para tentar entender os conteúdos que a princípio parecem difíceis.		
6__	6. Quando eu estou lendo, tento relacionar o material novo com aquilo que eu já conheço sobre um determinado assunto.		
7__	7. Enquanto eu estou estudando, frequentemente penso em situações da vida real em que aquilo que estou aprendendo poderia ser aplicado.		
8__	8. Eu tenho a tendência de lembrar melhor dos conteúdos se eu me concentrar na ordem em que foram apresentados pelo professor.		
9__	9. Eu tenho que me concentrar na memorização de boa parte do que tenho que aprender.		
10__	10. Eu reviso conteúdos importantes até entendê-los completamente.		
11__	11. Os professores não devem esperar que seus alunos gastem uma quantidade significativa de tempo estudando um conteúdo que todo mundo sabe que não será cobrado em avaliação.		
12__	12. Eu penso que praticamente qualquer assunto pode ser muito interessante, desde que eu tenha acesso a ele.		
13__	13. Muitas vezes eu me questiono sobre coisas que eu ouvi os professores dizerem nas aulas ou que li nos livros.		
14__	14. Eu acho útil obter uma visão geral de um novo tópico, vendo como as ideias se encaixam.		
15__	15. Depois de uma palestra ou atividade de laboratório, eu releio as minhas anotações para me certificar de que realmente as entendi.		
16__	16. Eu só estudo seriamente o conteúdo dado em sala de aula.		
17__	17. Eu me empenho para entender completamente o significado do que me pedem para ler.		
18__	18. Tenho tendência a gostar de assuntos com um monte de conteúdo prático, em vez de assuntos teóricos.		
19__	19. Eu tento relacionar o que eu aprendi com outros assuntos.		
20__	20. A melhor maneira para eu entender o significado dos termos técnicos é lembrar a definição do livro didático.		
21__	21. Quebra-cabeças e problemas me fascinam, especialmente quando tenho que me esforçar para chegar a uma conclusão lógica.		
22__	22. Eu não costumo pensar sobre as implicações daquilo que eu tenho que ler.		
23__	23. Eu aprendo as coisas de forma mecânica ou “decorando”.		
24__	24. Muitas vezes, eu leio assuntos científicos sem realmente entender o significado, então eu apenas os memorizo.		
25__	25. Eu olho apenas para as leituras sugeridas em palestras ou laboratórios, já que leituras adicionais sobre um determinado tema podem ser confusas.		
26__	26. Eu geralmente restrinjo o meu estudo para as informações que são repassadas pelo professor, pois acredito que é desnecessário qualquer esforço adicional.		

ANEXO C – Escala de Avaliação da Motivação para Aprendizagem (EMAPRE)

ESCALA DE AVALIAÇÃO DA MOTIVAÇÃO PARA APRENDIZAGEM – EMAPRE

Rita P. C. Zenorini e Acácia A. A. Santos (2007)

As questões a seguir referem-se à sua **motivação** e às suas **atitudes** em relação à aprendizagem.

Não há respostas certas ou erradas, o importante é que você seja sincero!

Marque com um X a opção que mais se ajusta a você: Marque (X) **1** se você concorda com a afirmação, (X) **2** se você não tem opinião a respeito e (X) **3** se você discorda da afirmação.

NOME: _____ SEXO: F () M ()
 IDADE: _____ SÉRIE: _____ ESCOLA: _____
 CIDADE: _____ ESTADO: _____

	3 = Concordo	2= Não sei	1 = Discordo	1	2	3
1	Quando vou mal numa prova, estudo mais para a próxima.					
2	Eu não desisto facilmente diante de uma tarefa difícil.					
3	Para mim, é importante fazer as coisas melhor que os demais.					
4	É importante para mim, fazer as tarefas melhor que os meus colegas.					
5	Faço minhas tarefas escolares porque estou interessado nelas.					
6	Não respondo aos questionamentos feitos pelo professor, por medo de falar alguma "besteira".					
7	Gosto de trabalhos escolares com os quais aprendo algo, mesmo que cometa uma porção de erros					
8	Na minha turma, eu quero me sair melhor que os demais.					
9	Não participo dos debates em sala de aula, porque não quero que os colegas riem de mim.					
10	Uma razão pela qual eu faço minhas tarefas escolares é que eu gosto delas.					
11	Sinto-me bem sucedido na aula quando sei que o meu trabalho foi melhor que dos meus colegas.					
12	Uma razão importante pela qual faço as tarefas escolares é porque eu gosto de aprender coisas novas.					
13	Gosto de mostrar aos meus colegas que sei as respostas.					
14	Quanto mais difícil a matéria, mais eu gosto de tentar compreender.					
15	Para mim, é importante, conseguir concluir tarefas que meus colegas não conseguem.					
16	Não me posiciono nas discussões em sala de aula, pois não quero que os professores achem que sei menos que os meus colegas.					
17	Sucesso na escola é fazer as coisas melhor que os outros.					
18	Não participo das aulas quando tenho dúvidas no conteúdo que está sendo trabalhado.					
19	Eu gosto mais das tarefas quando elas me fazem pensar.					
20	Gosto de participar de trabalhos em grupo sempre que eu possa ser o líder.					
21	Gosto quando uma matéria me faz sentir vontade de aprender mais.					
22	Uma razão pela qual eu não participo da aula é evitar parecer ignorante.					
23	Uma importante razão pela qual eu estudo pra valer é porque eu quero aumentar meus conhecimentos					
24	Ser o primeiro da classe é o que me leva a estudar.					
25	Gosto de tarefas difíceis e desafiadoras.					
26	Não questiono o professor quando tenho dúvidas na matéria, para não dar a impressão de que sou menos inteligente que os meus colegas.					
27	Não participo das aulas para evitar que meus colegas e professores me achem pouco inteligente.					
28	Sou perseverante, mesmo quando uma tarefa me frustra.					

ANEXO D - Teste Dupla-Camada de Conceitos de Genética - *Two-tier Genetics Concepts Test* (TGCT)

TESTE DUPLA-CAMADA DE CONHECIMENTOS DE GENÉTICA
TWO-TIER GENETICS CONCEPTS TEST (KILIÇ *et al.*, 2009).

Nome _____ 3° _____

1. Onde os cromossomos são encontrados na célula?

- a) no DNA.
- b) nos Genes.
- c) no Núcleo.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) O DNA é feito de cromossomos.
- (2) Os filamentos de cromatina, que se condensam na forma de cromossomos, são encontrados no núcleo.
- (3) Os genes são feitos de cromossomos.
- (4) Os cromossomos formam o DNA, que é encontrado nos genes.
- (5) Os cromossomos, que carregam os genes, estão localizados no DNA.

2. Quais células de um indivíduo apresentam os genes que determinam as suas características herdadas?

- a) as células sexuais/gametas.
- b) as células do cérebro.
- c) todas as células.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) Os cromossomos, que compõem os genes, são encontrados em todas as células.
- (2) Os genes são encontrados em células sexuais. Os genes parentais são carregados pelos espermatozóides e pelos óvulos.
- (3) As características herdadas são carregadas pelas células sexuais, sendo transferidas para os descendentes pelos cromossomos sexuais.
- (4) Os cromossomos, que são encontrados em todas as células, contêm os genes que determinam as nossas características hereditárias.
- (5) Tudo é controlado pelo cérebro.

3. Qual é o número de cromossomos de um organismo com a fórmula de $2n = 30 + XY$?

- a) 64
- b) 32
- c) 16

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) O número de cromossomos de um organismo é n ; e se $2n = 32$, então $n = 16$.
- (2) $30 + XY$ vêm do pai; $30 + XX$ vêm da mãe. No total, isso dá 64 cromossomos.
- (3) O número de cromossomos de um organismo é igual à soma de cromossomos sexuais e autossomos.
- (4) Se $2n = 30 + 2$, então o número de cromossomos deste organismo é de $32 \times 2 = 64$.
- (5) O número de cromossomos autossomos é igual a 2 e o número de cromossomos sexuais é 30. O número total de cromossomos é de 32.

4. Qual afirmação sobre os cromossomos está incorreta?

- a) Os cromossomos sexuais estão presentes apenas em células sexuais.
- b) Há uma grande quantidade de genes localizados num cromossomo.
- c) Há DNA na estrutura de um cromossomo.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) Os cromossomos sexuais estão presentes em todas as células.
- (2) Um gene é formado quando os cromossomos se fundem.
- (3) Os cromossomos formam o DNA.
- (4) Os cromossomos estão localizados nos genes, pois estes são maiores.
- (5) Os cromossomos sexuais existem apenas em células somáticas.

5. Onde estão localizados os genes para a cor dos olhos?

- a) Em todas as células.
- b) Na íris dos olhos.
- c) Nos espermatozóides.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) Os genes estão localizados apenas nos tecidos em que são expressos.
- (2) Os cromossomos X e Y, que são encontrados nos espermatozoides, carregam todos os genes.
- (3) Todos os genes estão presentes em todas as células.
- (4) Diferentes partes do corpo carregam seus próprios genes específicos.
- (5) A íris é a parte do olho responsável pela cor dos olhos.

6. Quantos cromossomos existem em uma célula nervosa de um organismo que tem 16 cromossomos em seu óvulo?

- a) 32
- b) 16
- c) 8

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) Uma célula somática apresenta o dobro do número de cromossomos de uma célula sexual.
- (2) O número de cromossomos é o mesmo em cada célula de um organismo.
- (3) Os óvulos apresentam $2n$ cromossomos e as células somáticas n cromossomos.
- (4) As células sexuais sofrem meiose e o número de cromossomos é reduzido pela metade. Devido a isso, uma célula nervosa transporta 8 cromossomos.
- (5) Tanto um óvulo quanto uma célula nervosa têm n cromossomos.

7. Quais dos seguintes pares de células têm a informação genética idêntica?

- a) Espermatozoides – células cerebrais.
- b) Células dos olhos - células da pele.
- c) Espermatozoides – espermatozoides.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) As células da pele e a dos olhos têm n cromossomos, que são os mesmos em ambos os tipos de células.
- (2) A informação genética em espermatozoides é transferida para as células do cérebro.

- (3) Os espermatozoides de um organismo têm genes idênticos.
- (4) Os cromossomos nas células sexuais são sempre os mesmos.
- (5) Todas as células somáticas de um organismo apresentam os mesmos genes.

8. Onde estão localizados os cromossomos que determinam o sexo de um organismo?

- a) Somente nos ovários e testículos.
- b) Apenas nos espermatozoides e óvulos.
- c) Em todas as células.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) Os espermatozoides podem carregar os cromossomos X ou Y, um óvulo pode transportar apenas os cromossomos X.
- (2) Diferentes órgãos têm seus próprios genes e cromossomos específicos.
- (3) Se o órgão reprodutivo de um indivíduo é um testículo, então este indivíduo é um macho, se o órgão reprodutivo é um ovário, então este indivíduo é uma fêmea.
- (4) Os cromossomos sexuais só são encontrados em células sexuais.
- (5) Cada célula do organismo contém todos os cromossomos.

9. Qual das seguintes poderia ser uma célula do ser humano com 22 + X?

- a) Uma célula somática da mulher.
- b) Um espermatozoide.
- c) Zigoto.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) O cromossomo X representa uma mulher.
- (2) Esta condição só pode ser encontrada numa célula sexual (gameta) de um homem ou mulher.
- (3) O zigoto apresenta os cromossomos autossomos e sexuais.
- (4) O zigoto apresenta 23 cromossomos.
- (5) O número 22 representa os cromossomos autossomos, desta forma, 22 + X pode ser encontrado numa célula somática de uma mulher.

10.

- I - Os genes estão localizados nos cromossomos.
- II - Os genes são feitos de DNA.
- III - Todas as células somáticas têm os mesmos genes.

Quais das frases acima estão corretas?

- a) Apenas III.
- b) I e II.
- c) I – II – III.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) Os cromossomos estão localizados nos genes, que são os mesmos em todas as células do corpo.
- (2) Os cromossomos de uma célula somática carregam diferentes genes, que variam conforme a função da célula.
- (3) Os genes, que são feitos de DNA, estão localizados em cromossomos e são diferentes uns dos outros em cada célula no corpo.
- (4) Os genes, que são compostos de DNA, estão localizados nos cromossomos, e são os mesmos em todas as células somáticas.
- (5) Os cromossomos e o DNA dos genes são os mesmos em todas as células somáticas do indivíduo.

11. O número de cromossomos é o mesmo em todas as células somáticas de um indivíduo. Qual dos seguintes processos é responsável por esta condição?

- a) Meiose
- b) Mitose
- c) Mutação

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) Através da meiose, o número de cromossomos das células sexuais (n) é dobrado para fazer um indivíduo com $2n$ cromossomos.
- (2) Se as células somáticas não sofressem mitose, seu número de cromossomos seria dobrado.
- (3) As mutações ocorrem com objetivo de parar o número de células crescentes.
- (4) Na meiose, o número de cromossomos é mantido constante.
- (5) A mitose produz células somáticas com genes idênticos.

12. Como é que um descendente passa a existir?

- I. O espermatozóide e um óvulo se unem para formar um zigoto.
- II. O zigoto sofre meiose.
- III. As células sexuais são formadas por meiose.
- IV. Os espermatozoides e os óvulos sofrem mitose.
- V. O zigoto sofre mitose.

Qual das seguintes ordens está correta?

- a) III–I–II
- b) III–I–V
- c) IV–I–III

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) Um espermatozóide e um óvulo, que são formados pela meiose, juntam-se para produzir um zigoto. Em seguida, um zigoto reduz o seu número de cromossomos pela metade através do processo de meiose.
- (2) As células sexuais se multiplicam por mitose, porém são formadas por meiose.
- (3) As células sexuais formam um zigoto através do processo de meiose, e o zigoto sofre mitose.
- (4) Os espermatozoides e os óvulos são formados por meiose e, em seguida, se juntam para formar um zigoto. O zigoto sofre mitose para desenvolver-se.
- (5) Em primeiro lugar, os espermatozoides e os óvulos multiplicam-se por meiose. Eles, então, se juntam para formar um zigoto. O zigoto sofre meiose para formar as células sexuais da prole.

13. Como os genes parentais são transferidos para os descendentes?

- a) Pelos cromossomos XY dos espermatozoides do pai e pelos cromossomos autossomos da mãe.
- b) Pelos cromossomos sexuais do pai e da mãe.
- c) Por ambos os cromossomos sexuais e autossomos do pai e da mãe.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- (1) Somente os cromossomos sexuais carregam as características herdadas.

- (2) Os genes da mãe são transferidos para o zigoto através dos seus cromossomos somáticos; e os genes do pai são transferidos pelos espermatozoides.
- (3) As células sexuais carregam ambos os cromossomos sexuais e somáticos.
- (4) Os cromossomos sexuais paternos e maternos são transferidos para o descendente na fecundação.
- (5) Os cromossomos X ou Y vêm do pai para formar as células sexuais do descendente. Os cromossomos somáticos da mãe formam as células do corpo do mesmo.

ANEXO E - Teste Dupla-Camada para o Diagnóstico de Genética - *Two-tier
Diagnostic Instrument for Genetics*

**INSTRUMENTO DUPLA-CAMADA PARA O DIAGNÓSTICO DE GENÉTICA
TWO-TIER DIAGNOSTIC INSTRUMENT FOR GENETICS (TSUI; TREAGUST,
2010).**

Nome:.....Série:.....

1. A característica “cabelo cacheado” é dominante sobre a característica “cabelos lisos”. Se usarmos a letra “L” para representar o alelo dominante (gene) que determina a presença de cabelos cacheados e “l” para o alelo recessivo, uma pessoa com o genótipo **Ll** poderia ter o cabelo cacheado?

- a. Sim
- b. Não
- c. Não sei

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. A pessoa precisa ter o genótipo **LL** para apresentar os cabelos cacheados.
- b. O alelo dominante **L** é expresso em uma condição **Ll**.
- c. A pessoa pode ou não ter o cabelo cacheado.
- d. O alelo recessivo **l** é expresso.

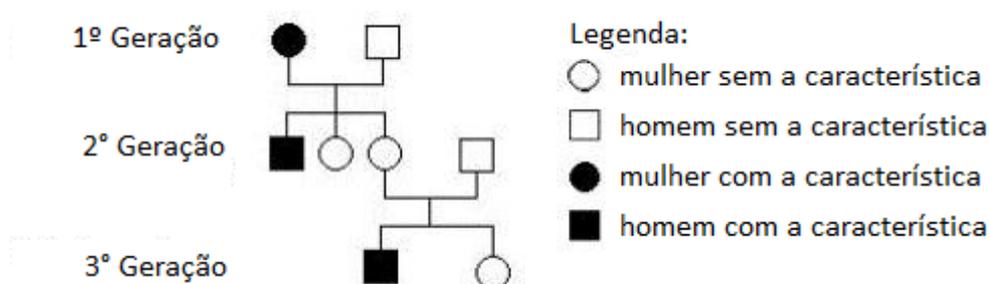
2. Nos seres humanos, o alelo **H** que determina a doença de Huntington (doença hereditária que resulta em degeneração do sistema nervoso levando a convulsões e morte prematura) é dominante em relação ao alelo normal, **h**. Se João apresenta a doença de Huntington, seu genótipo provavelmente é:

- a. **HH**
- b. **Hh**
- c. **HH** ou **Hh**
- d. Não sei.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. **HH** e **Hh** produzem características diferentes.
- b. O alelo dominante **H** é sempre expresso para ocasionar a doença de Huntington.
- c. O alelo recessivo **h** é expresso apenas quando está presente na forma **hh**.
- d. O alelo dominante **H** é expresso somente na forma **HH**.

3. Qual das seguintes características está presente no heredograma abaixo?



- a. Recessiva.
- b. Dominante.
- c. Não se pode definir.
- d. Não sei.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. Apenas uma das três crianças da segunda geração tem a característica.
- b. Tanto a mulher da primeira geração quanto seu filho apresentam a característica.
- c. Um homem da terceira geração tem a característica, mas seus pais não a tem.
- d. A característica pode ser dominante ou recessiva.

4. O zigoto de uma ervilha de jardim (*Pisum sativum*) contém 7 pares de cromossomos. Qual das seguintes alternativas é, portanto, verdade?

- a. Os gametas (óvulos ou pólen) devem conter 28 cromossomos.
- b. Os gametas devem conter 14 cromossomos.
- c. Os gametas devem conter 7 cromossomos.
- d. Não sei.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. Cada gameta (óvulo ou pólen) carrega um cromossomo de cada par.
- b. Cada gameta carrega dois cromossomos de cada par.
- c. Os gametas carregam os mesmos genes de outras células da ervilha de jardim para uma característica particular.

- d. Os gametas provenientes de cada planta parental carregam diferentes genes.

5. A imagem a seguir mostra uma "caixa preta", a qual fornece um modelo simplificado de um processo em genética.

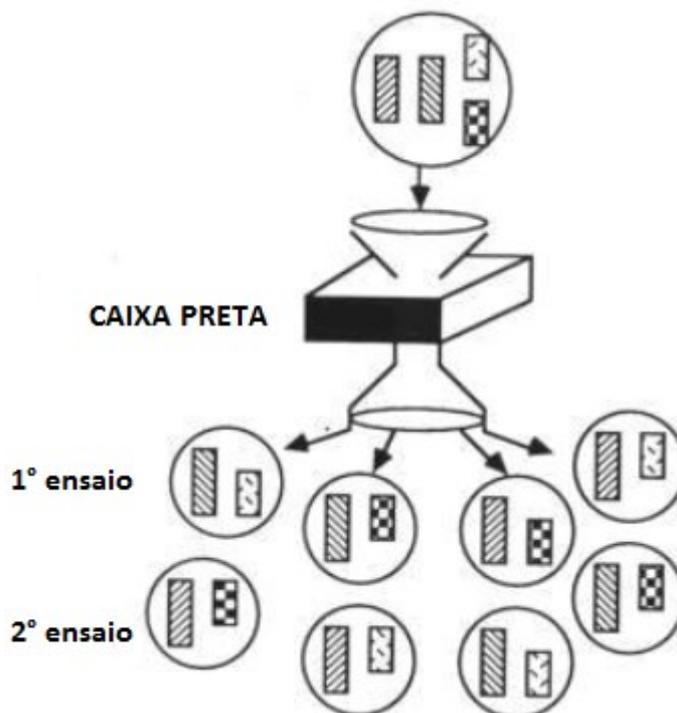


Diagrama adaptado de Kinnear, J. (1992). *Teaching genetics: Recommendations and research*. Paper presented at the Teaching Genetics: Recommendations and Research Proceedings of a National Conference, Cambridge, MA.

O que a "caixa preta" representa?

- a. O processo de fertilização em que um espermatozóide se combina com um óvulo.
- b. Um tipo de divisão celular que ocorre após a fertilização.
- c. Um tipo de divisão celular que produz espermatozóides ou óvulos antes da fertilização.
- d. Não sei.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. Os cromossomos se combinam em pares para formar as diferentes células do corpo.

- b. A célula divide-se em diferentes tipos, com cromossomos diferentes, que controlam diferentes funções corporais.
- c. A célula se divide em células-filhas que têm a metade do número de cromossomos da célula-mãe.
- d. Os resultados são semelhantes nos dois ensaios.

6. Em camundongos, o gene **b** que determina a pelagem branca é recessivo em relação ao gene **B** que condiciona a pelagem marrom. Um camundongo com genótipo **Bb** cruzou com uma fêmea com o genótipo **bb** que, em seguida, deu à luz a uma ninhada de 12 camundongos. Quantos camundongos brancos são esperados?

- a. 3
- b. 6
- c. 12
- d. Não sei.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. Metade dos espermatozóides e todos os óvulos carregam o gene **b**.
- b. Todos os espermatozóides e metade dos óvulos carregam o gene **b**.
- c. Há apenas um possível evento de fertilização.

7. Qual das seguintes é a melhor descrição de um gene?

- a. A menor unidade da estrutura de um cromossomo.
- b. Uma sequência de informações que codifica uma proteína.
- c. Um segmento de uma molécula de DNA.
- d. Não sei.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. Se refere ao fato de que o gene apresenta as informações para a produção de uma característica.
- b. É sobre a relação estrutural entre um gene e um cromossomo.
- c. É sobre a natureza química de um gene.
- d. Refere-se ao fato do gene ser uma proteína.

8. De acordo com o Laboratório de Triagem Estadual Australiano, cerca de um a cada 2.500 recém-nascidos na Austrália apresenta fibrose cística, uma doença genética

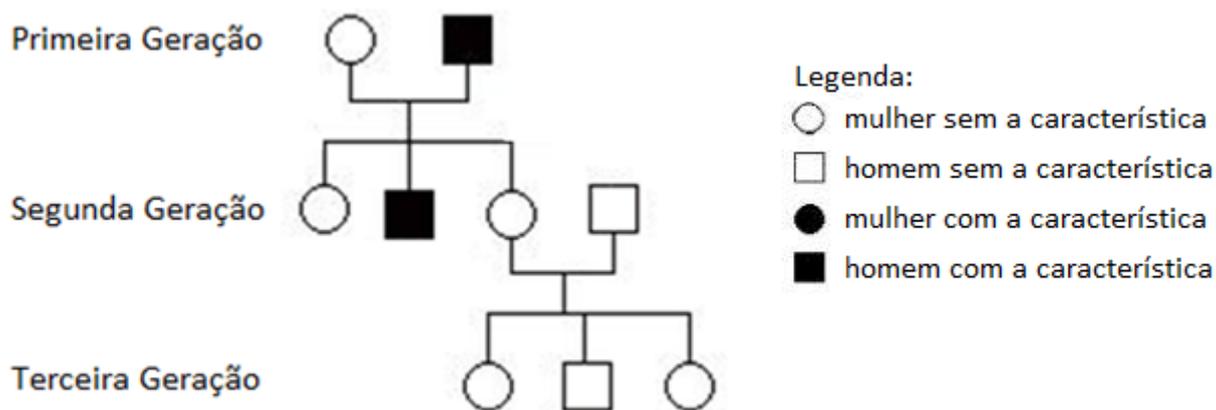
ocasionada por um gene recessivo no cromossomo sete. Os sintomas incluem problemas respiratórios, desordens digestivas e morte precoce. Qual dos seguintes genótipos indicaria que um bebê sofre de fibrose cística?

- a. **CC**
- b. **Cc**
- c. **cc**
- d. Não sei.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. O bebê precisa ter, pelo menos, uma cópia de "C" para apresentar a fibrose cística.
- b. O bebê precisa ter duas cópias de "c" para esta característica recessiva.
- c. O bebê precisa ter, pelo menos, uma cópia de "c" para apresentar a fibrose cística.

9. De acordo com as informações presentes no heredograma abaixo, assinale a alternativa que melhor descreve a doença genética em questão.



- a. Recessiva.
- b. Dominante.
- c. Não é possível determinar.
- d. Não sei.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. Não há informação suficiente para determinar o tipo de doença.
- b. Há apenas uma em cada três crianças que têm esta doença genética.
- c. A mãe tem a doença e um dos seus filhos também.

d. O pai não tem a doença; nem as suas duas filhas.

10. Em um dos seus experimentos, Mendel cruzou plantas de ervilha altas com plantas de ervilha baixas, ou seja, altas x baixas. Na primeira geração (F1) nasceram somente plantas de ervilha altas. Nós sabemos agora que todas as plantas da geração F1 eram híbridas. Mendel então cruzou duas plantas da geração F1 e obteve 1064 plantas na segunda geração (F2). Qual das seguintes alternativas apresenta os fenótipos observados por Mendel na geração F2?

- a. 530 plantas altas e 534 plantas baixas.
 b. 277 plantas altas e 787 plantas baixas.
 c. 787 plantas altas e 277 plantas baixas.
 d. Não sei.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. Isso pode ser trabalhado no Quadro de Punnett (abaixo), usando **B** para o gene dominante (estatura da planta) e **b** para o gene recessivo:

	B	B
B	BB	Bb
B	BB	Bb

...e então descobrir as proporções esperadas de BB ou Bb e bb.

- b. Isso pode ser trabalhado no Quadro de Punnett (abaixo) usando **B** para o gene dominante (estatura da planta) e **b** para o gene recessivo:

	B	b
B	BB	Bb
b	Bb	bb

...e então descobrir as proporções esperadas de BB ou Bb e bb.

- c. Isso pode ser trabalhado no Quadro de Punnett (abaixo) usando **B** para o gene dominante (estatura da planta) e **b** para o gene recessivo:

	B	B
b	Bb	Bb
b	Bb	Bb

...e então descobrir as proporções esperadas de BB ou Bb e bb.

- d. Isso pode ser trabalhado no Quadro de Punnett (abaixo) usando **B** para o gene dominante (estatura da planta) e **b** para o gene recessivo:

	B	B
B	BB	Bb
b	Bb	Bb

...e então descobrir as proporções esperadas de BB e bb.

11. Alguns cães latem quando estão caçando e outros ficam calados, por isso são chamados de rastreadores silenciosos. Latir é uma característica dominante (representada pelo gene **B**) em relação a não latir (gene **b**). Um caçador é dono de um cão latidor, e quer usá-lo para fins de reprodução. Contudo, ele precisa ter certeza de que seu cão apresenta o genótipo **BB**. Qual seria o genótipo da fêmea que ele deveria cruzar com este cão?

- a. **BB**.
 b. **Bb**.
 c. **bb**.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. Se algum rastreador silencioso aparecer na prole, o caçador pode ter certeza que o genótipo do seu cão é **Bb**.
 b. Se não há rastreadores silenciosos na prole, ele pode ter certeza que o genótipo do seu cão é **BB**.

- c. Se o seu cão é **Bb**, as chances de conseguir rastreadores silenciosos na prole são zero.

12. Na década de 1950, Fred Sanger descobriu que uma proteína chamada insulina (hormônio proteico que controla a glicose no sangue) apresenta 51 aminoácidos (subunidades das proteínas) dispostos em uma ordem específica. Com esta informação, você acha que seria possível para Sanger determinar a informação do gene da insulina ou a sequência de bases de DNA (ou seja, A, T, C ou G) do gene da insulina?

- a. Sim.
b. Não.
c. Não sei.

Qual das seguintes é a justificativa de sua resposta anterior?

- a. O DNA e a insulina (proteína) são moléculas estruturalmente diferentes.
b. A sequência de bases do DNA do gene da insulina e a sequência de aminoácidos (ou subunidades) da insulina (proteína) são diferentes.
c. A sequência de bases de DNA do gene da insulina corresponde à sequência de aminoácidos da insulina.