UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Ciências

Campus de Bauru

Programa de Pós-Graduação em Educação Para a Ciência – PPGEdC

VINÍCIUS SILVA TANAJURA

Estratégias didáticas para o ensino de Genética baseadas em História da Ciência: Propostas envolvendo aspectos da natureza da ciência presentes na constituição de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo.

BAURU – SP

2024

VINÍCIUS SILVA TANAJURA

Estratégias didáticas para o ensino de Genética baseadas em História da Ciência: Propostas envolvendo aspectos da natureza da Ciência presentes na constituição de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus Bauru, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação para a Ciência.

Orientadora:
Profa. Dra. Sandra Regina Teodoro Gatti

BAURU – SP
2024

Tanajura, Vinícius Silva.
Estratégias didáticas para o ensino de Genética baseadas em História da Ciência: propostas envolvendo aspectos da natureza da ciência presentes na constituição de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo. / Vinícius Silva Tanajura. – Bauru, 2024.
Total de folhas: 205

Tese (Doutorado)–Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Bauru
Orientador: Sandra Regina Teodoro Gatti

1. Estratégias didáticas. 2. Ensino de Genética. 3. Natureza da Ciência. 4. História da Ciência. 5. Ensino de Ciências.
I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

VINÍCIUS SILVA TANAJURA

Estratégias didáticas para o ensino de Genética baseadas em História da Ciência: Propostas envolvendo aspectos da natureza da ciência presentes na constituição de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus Bauru, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação para a Ciência.

Banca Examinadora:

TITULARES:

1. Profa. Dra. Sandra Regina Teodoro Gatti
Departamento de Educação – Faculdade de Ciências / UNESP campus Bauru

2. Profa. Dra. Mariana Aparecida Bologna Soares de Andrade
Departamento de Biologia Geral (Morfologia e Prática de Ensino) / UEL (Londrina/PR)

3. Profa. Dra. Maria Elice de Brzezinski Prestes
Departamento de Genética e Biologia Evolutiva – Instituto de Biociências / USP

4. Profa. Dra. Taitiâny Karita Bonzanini
Departamento de Economia, Administração e Sociologia / ESALQ – USP

5. Profa. Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira
Departamento de Educação – Faculdade de Ciências / UNESP campus Bauru

SUPLENTES:

1. Prof. Dr. Álvaro Lorencini Júnior
Departamento de Biologia Geral / UEL (Londrina/PR)

2. Prof. Dr. João Manoel da Silva Malheiro
Faculdade de Pedagogia / UFPA campus Castanhal

3. Prof. Dr. Paulo Cesar Gomes
Departamento de Ciências Humanas e Ciências da Nutrição e Alimentação – Instituto de Biociências / UNESP campus Botucatu

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE VINÍCIUS SILVA TANAJURA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 23 dias do mês de agosto do ano de 2024, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de VINÍCIUS SILVA TANAJURA, intitulada **Estratégias didáticas para o ensino de Genética baseadas emhistória da ciência: Propostas envolvendo aspectos da natureza da ciência presentes na constituição de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo.** A Comissão Examinadora foi constituida pelos seguintes membros: Profa. Dra. SANDRA REGINA TEODORO GATTI (Orientador(a) Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências - Unesp Bauru, Profa. Dra. MARIANAAPARECIDA BOLOGNA SOARES DE ANDRADE(Participação Virtual) do(a) Centro deCiências Biológicas / Universidade Estadual de Londrina - UEL, Profa. Dra. MARIA ELICE DE BRZEZINSKI PRESTES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Genética e Biologia Evolutiva / Universidade de São Paulo, Profa. Dra. TAITIÂNY KÁRITA BONZANINI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Economia, Administração e Sociologia /Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-ESALQ, Profa. Assoc. ANA MARIA DE ANDRADE CALDEIRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências - Unesp/Bauru. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros daComissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, odiscente recebeu o conceito final **APROVADO** . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

gov.br Documento assinado digitalmente
SANDRA REGINA TEODORO GATTI
Data: 23/08/2024 17:34:27-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. SANDRA REGINA TEODORO GATTI

Dedico esta tese ao meu pai, Abelardo

e à minha mãe, Maria Luiza.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao **Prof. Dr. Fernando Bastos**, não apenas pela orientação desta tese, mas também por toda a confiança que depositou em mim ao longo de nossa parceria acadêmica. Desde 2012, quando aceitou orientar meu trabalho de mestrado, mesmo sem nos conhecermos previamente, o professor Fernando sempre me incentivou e me deu oportunidades para seguir adiante, principalmente nos momentos de maiores dificuldades. Sou grato, sobretudo, por poder disfrutar e contar com sua amizade. Muito obrigado!

Agradeço ao **Prof. Dr. Roberto Nardi** e à **Profa. Dra. Beatriz Salemme Corrêa Cortela**, por todos os bons momentos e boas conversas que tivemos em meio a reuniões do GPEC, discussões acadêmicas, aulas em disciplinas, encontros em eventos, estágios, bate-papos dentro e fora da Unesp... Para mim, esses encontros foram momentos de aprendizado e também oportunidades de cultivar a valiosa amizade que desenvolvi com ambos.

Agradeço à **Profa. Dra. Sandra Regina Teodoro Gatti**, que gentilmente aceitou ser a orientadora oficial desta tese, após aposentadoria do prof. Fernando. Também agradeço às doutoras que compuseram a banca examinadora**: Profa. Dra. Mariana Aparecida Bologna Soares de Andrade** e **Profa. Dra. Maria Elice de Brzezinski Presetes**, que colaboraram imensamente desde a qualificação do trabalho, bem como a **Profa. Dra. Taitiâny Kárita Bonzanini**, e a **Profa. Dra. Ana Maria de Andrade Caldeira**, que também o fizeram na defesa pública, gentilmente orientando-me em relação aos encaminhamentos finais da tese.

Agradeço ao **Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência (PPGEdC)**, pela oportunidade desta titulação, bem como, por possibilitar minhas primeiras experiências docentes no ensino superior. Estendo os agradecimentos às servidoras e servidores da Faculdade de Ciências, por todo o profissionalismo e gentileza com que sempre me atenderam.

Agradeço a todos(as) os(as) colegas e amigos(as) do **Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências – GPEC**, pelos bons momentos que compartilhamos dentro e fora do PPGEdC.

Agradeço à minha companheira, **Juliana Costa Cruz,** por todo amor, companheirismo, paciência e força que me deu durante a etapa mais difícil da minha caminhada até aqui, que incluiu também este trabalho. Sem seu apoio eu não teria tido forças para caminhar.

Agradeço à minha irmã, **Heloisa**, ao meu irmão, **Murilo** e à minha avó, **Izolina**, por fazerem parte da minha vida e me proporcionarem a vida em família. Também por isso, agradeço ao meu tio, **Ricardo**, que compartilhou comigo suas experiências dentro e fora da academia, me oferecendo seu olhar crítico, seu ombro amigo e suas palavras de orientação.

Por fim, agradeço ao meu pai, **Abelardo**, e à minha mãe, **Maria Luiza**, por todo amor, cuidado, incentivo e orações pelo meu bem. Não fosse a estrutura que vocês são em minha vida, nem este, nem qualquer outro trabalho teria sido possível. Na hora mais escura, vocês foram a luz que me ajudou a encontrar um caminho.

TANAJURA, V.S.: **Estratégias didáticas para o ensino de Genética baseadas em História da Ciência: Propostas envolvendo aspectos da natureza da ciência presentes na constituição de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo**. Tese de Doutorado (Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Unesp campus Bauru, 205 páginas, 2024.

RESUMO

Os conteúdos de Genética estão muito presentes na vida cotidiana neste início de século XXI. As diversas mídias de massa e digitais fornecem uma quantidade massiva de informação, que em diferentes contextos, podem tanto informar quando confundir o público. Recentemente viveu-se a terrível experiência da pandemia de Covid-19, que motivou debates sociocientíficos em diversas esferas sociais. Nesses e em outros debates percebeu-se a influência de equívocos quanto a conceitos básicos em Genética, fundamentais para o entendimento de tais questões. Nesse sentido, a literatura científica aponta que muitos(as) estudantes da escola básica não compreendem a relação entre genes e cromossomos, apesar de os primeiros trabalhos científicos sobre isso terem sido realizados há mais de um século. Evidencia-se assim, a importância de constantes reformulações no ensino desses conceitos, de forma a possibilitar que a população compreenda os avanços da Ciência e suas consequências sociais. Para tanto, diversos trabalhos apontam a importância da contextualização histórica e do ensino científico ocorrer vinculado a conteúdos sobre a natureza da Ciência (NdC). Nesta pesquisa optou-se pela abordagem de episódios relacionados à constituição da espécie *Drosophila melanogaster* como organismo modelo em pesquisas sobre hereditariedade, para promover tal contextualização. Esses episódios marcaram um período de avanços significativos nas Ciências Biológicas, que se estenderam por todo o século XX. Sendo assim, buscou-se, analisar as possibilidades de articulação entre os conceitos científicos relativos à Teoria Cromossômica da Herança (TCH), os episódios históricos relacionados a ela, e a NdC, com vistas à fundamentação teórica de propostas didáticas, apresentadas como sugestões conceituais e metodológicas que solucionem desafios no ensino de Genética. Dessa forma, realizou-se uma pesquisa bibliográfica por revisão narrativa que fundamentasse a escolha e articulação das informações provenientes da literatura, com os conhecimentos tácitos em vista da experiência docente do autor, para a elaboração de tais estratégias didáticas. Ao todo, foram propostas 6 (seis) estratégia baseadas, principalmente, em trabalhos colaborativos de pesquisa realizados por estudantes. Por fim, conclui-se que essas sugestões se configuram como um material didático que contribui com a ação docente contextualizada e adaptada, para o ensino de NdC e conteúdos relacionados à temática em questão, de modo a contemplar demandas indicadas pela literatura da área como desafios para a formação científica crítica.

Palavras-chave: Estratégias didáticas, Natureza da Ciência, História da Ciência, Ensino de Genética, Ensino de Ciências.

TANAJURA, V.S.: **Estratégias didáticas para o ensino de Genética baseadas em História da Ciência: Propostas envolvendo aspectos da natureza da ciência presentes na constituição de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo**. Tese de Doutorado (Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Unesp campus Bauru, 205 páginas, 2024.

ABSTRACT

Genetics content is very present in everyday life at the beginning of the 21st century. The various mass and digital media provide a massive amount of information, which in different contexts can either inform or confuse the public. We have recently lived through the terrible experience of the COVID-19 pandemic, which has prompted socio-scientific debates in various social spheres. In these and other debates, we have seen the influence of misunderstandings about basic concepts in Genetics, which are fundamental to understanding these issues. In this sense, scientific literature shows that many elementary school students do not understand the relationship between genes and chromosomes, despite the fact that the first scientific studies on this subject were carried out over a century ago. This highlights the importance of constantly reformulating the teaching of these concepts, so that the population can understand the advances made in science and their social consequences. To this end, various studies have pointed out the importance of historical contextualization and the fact that science teaching is linked to content about the nature of Science (NOS). In this research, we chose to approach episodes related to the establishment of the *Drosophila melanogaster* as a model organism in heredity research, in order to promote this contextualization. These episodes marked a period of significant advances in the biological sciences, which lasted throughout the 20th century. The aim was therefore to analyze the possibilities of linking scientific concepts related to the Chromosomal Inheritance Theory (CIT), the historical episodes related to it, and NOS, with a view to providing a theoretical basis for didactic proposals, presented as conceptual and methodological suggestions to solve challenges in the teaching of Genetics. In this way, bibliographical research was carried out by means of a narrative review to support the choice and articulation of information from the literature, with tacit knowledge from the author's teaching experience, for the development of these didactic strategies. In all, 6 (six) strategies were proposed, based mainly on collaborative research work carried out by students. Finally, it can be concluded that these suggestions constitute didactic material that contributes to contextualized and adapted teaching action for the teaching of NOS and content related to the theme in question, in order to meet the demands indicated by the literature in the area as challenges for critical scientific education.

Keywords: Teaching strategies, Nature of Science, History of Science, Genetics teaching, Science teaching

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema ilustrativo das combinações entre descritores principais e secundários 25

Fiugra 2: Representação do modelo cromossômico de Correns com a distribuição dos fatores hereditários (F1 a F5; f1 a f5). 87

Figura 3: Ilustrações de moscas drosófilas (Drosophila sp) feitas por Edith M. Wallace (1881–1964), publicadas em 1921 pelo Carnegie Institution of Science. 109

Figura 4: Esquema representativo das etapas da proposta didática envolvendo trabalho colaborativo (metodologia Jigsaw Classroom). 145

Figura 5: Ciclo da metodologia de Aprendizagem Baseada em Problemas – ABP 160

Figura 6: Interface da ferramenta educacional digital FlyLab JS 166

.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Definições resumidas das teorias gerais subordinadas à teoria da Biologia de Scheiner, elaborada a partir dos princípios fundamentais de cada uma. 33

Quadro 2: Eixos para discussão de conteúdos de NdC e exemplos de temas. 112

Quadro 3: Sugestões de questões relativas à temática em questão nesta tese, categorizadas em eixos, subeixos e temas. 114

Quadro 4: Ações para auxílio na identificação dos indicadores de concepções míticas e pseudo-história em textos diversos. 129

Quadro 5: Sugestões de perguntas a serem utilizadas na realização das atividades de identificação de indicadores de pseudo-história e concepções míticas. 131

Quadro 6: Sugestões de perguntas a serem utilizadas na realização das atividades em grupo 137

Quadro 7: Sugestões de perguntas a serem utilizadas pelo(a) professor(a) na etapa inicial da estratégia didática. 142

Quadro 8: Sugestões de perguntas a serem feitas anteriormente à apresentação e análise do filme 150

Quadro 9: Proposta de roteiro de análise fílmica para o filme “The Fly Room”. Informações sobre as cenas, as ações a serem realizadas pelos(as) estudantes e a relação com o quadro 4, orientador da abordagem sobre NdC. 153

Quadro 10: Resumo esquemático das principais atividades sugeridas na sequência didática fundamentada em ABP. 168

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Alfabetização Científica
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNG	Congresso Nacional de Genética
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
EF	Ensino Fundamental
EM	Ensino Médio
ENPEC	Encontro Nacionais de Pesquisa em Educação
EPEB	Encontro “Perspectivas do Ensino de Biologia”
HC	História da Ciência
IsisCB	*Isis Current Bibliography of the History of Science*
JC	*Jigsaw Classroom*
NdC	Natureza da Ciência
SciELO	*Scientific Electronic Library Online*
TCH	Teoria Cromossômica da Herança
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
VC	Visão consensual sobre Natureza da Ciência

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO **14**

CAPÍTULO 1: Introdução, Objetivos e Metodologia **16**
1.1 Introdução 16
1.2 Objetivos 22
1.3 Metodologia 22

CAPÍTULO 2: Ensino de Ciências Biológicas e Genética: conteúdos, conceitos, estratégias e desafios. **29**
2.1 Conteúdos e conceitos em Ciências Biológicas 29
2.2 Estratégias e desafios no ensino de Genética. 35

CAPÍTULO 3: Natureza da Ciência e História da Ciência: ensino, aspectos, consensos e contextos. **44**
3.1 Aspectos da Natureza da Ciência (NdC) no ensino de ciências. 44
3.2 Aspectos consensuais e a abordagem contextualizada da NdC. 47
3.3 História da Ciência (HC) como estratégia de ensino. 58
3.4 Temas e Questões sobre episódios da HC como fundamentação para ensino da NdC: uma abordagem contextual. 64

CAPÍTULO 4: Um pequeno passo para uma mosca, um grande salto para a humanidade: episódios da HC que marcaram o início da utilização de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo. **69**
4.1 A hereditariedade pela Ciência do século XIX. 70
4.2 Pesquisas realizadas no século XIX sobre células e hereditariedade. 76
4.2.1 O trabalho com cromossomos e a determinação sexual. *82*
4.3 Os trabalhos de Thomas H. Morgan e seus colaboradores. 90
4.4 As pesquisas sobre hereditariedade utilizando *Drosophila melanogaster* como organismo modelo. 95
4.5 O estabelecimento da espécie *Drosophila melanogaster* como modelo experimental em Genética. 101

CAPÍTULO 5: Estratégias didáticas para ensino de conceitos estruturais em Genética e NdC, por meio da HC: sugestões a partir da literatura científica e da experiência docente. **110**
5.1 Questões contextualizadas para o ensino de NdC a partir de episódios da HC. 113
5.2 Identificação de pseudo-história e concepções míticas sobre Ciência em materiais didáticos, textos de divulgação científica e materiais digitais diversos. 125
5.2.1 Roteiro para identificação dos indicadores de pseudo-história e concepções míticas. *128*

5.2.2 Identificação dos indicadores de pseudo-história e concepções míticas em materiais diversos. *129*
5.3 Material digital e hipermídia para elaboração e divulgação de NdC e conteúdos sobre Genética. 132
5.3.1 Produção coletiva de material digital sobre as potencialidades de D. melanogaster como organismo modelo. *135*
5.4 Trabalho cooperativo para ensino de NdC e conceitos básicos em Genética. 138
5.4.1 Trabalho cooperativo de pesquisa sobre a utilização de Drosophila melanogaster nas pesquisas relacionadas à TCH. *141*
5.5 Análise fílmica para avaliação de aspectos da NdC relacionados a episódios da HC abordados pela narrativa. 146
5.5.1 Proposta didática em relação ao filme "The Fly Room". *148*
5.5.2 Roteiro para análise fílmica da obra "The Fly Room". *151*
5.6 Estratégia didática fundamentada em Aprendizagem Baseada em Problema (ABP) – Problem Based Learning (PBL) – para o ensino de NdC a partir de episódios da HC. 157
5.6.1 Proposta de sequência didática fundamentada em ABP para ensino de NdC a partir de episódios da HC. *161*

CAPÍTULO 6: Conclusões **169**

Referências Bibliográficas **173**

ANEXO 1: Sinopse do filme "The Fly Room": 192

ANEXO 2: Texto biográfico de Calvin Blackman Bridges (1889-1938): 194

ANEXO 3: Reportagem sobre Nettie Stevens 198

ANEXO 4: Texto sobre contribuições de cientistas mulheres na História da Genética. 201

APRESENTAÇÃO

Esta tese está organizada em 6 (seis) capítulos e os anexos com os recursos didáticos elaborados.

No *primeiro capítulo* apresenta-se a Introdução, contendo as principais questões de pesquisa e conceitos abordados ao longo da tese, com o objetivo de ilustrar o cenário a explorado. Ao final da Introdução apresenta-se os objetivos do trabalho. Por se tratar de uma pesquisa teórica, optou-se por apresentar a Metodologia anteriormente aos capítulos de fundamentação teórica. Assim, tem-se uma pesquisa bibliográfica sobre a produção acadêmica da área de interesse desta tese. Ressalta-se ainda, a importância das pesquisas de estado da arte e estado do conhecimento, como também, das revisões bibliográficas e fontes historiográficas secundárias, produzidas por historiadores(as) da Ciência.

No *segundo capítulo* da tese apresenta-se o levantamento de pesquisas sobre a natureza conceitual dos conteúdos em Ciências Biológicas, além de estratégias didáticas e dificuldades associadas ao ensino e aprendizagem de Genética, principalmente na educação básica. Nesse capítulo são abordadas discussões e demandas apresentadas pela literatura científica da área, com o intuito de fundamentar as análises e tese propostas nesta pesquisa.

No *terceiro capítulo* apresenta-se a fundamentação teórica em relação aos aspectos da natureza da Ciência (NdC) e História da Ciência (HC), que embasaram as propostas de estratégias didáticas apresentadas no capítulo 5 (cinco). Este capítulo aborda definições consensuais e contextualizadas sobre NdC, a partir de diferentes referenciais teóricos. Também há destaque para a utilização da HC relacionada a estratégias de ensino de Ciências.

No *quarto capítulo* apresenta-se os episódios históricos relacionados a Teoria Cromossômica da Herança (TCH), sobre o contexto em que conceitos científicos foram propostos a partir de pesquisas realizadas em diferentes áreas das Ciências Biológicas, como as pesquisas envolvendo as estruturas e divisão das células, investigações sobre o processo de desenvolvimento embriológico, e os trabalhos sobre hereditariedade, entre a segunda metade do século XIX e as primeiras décadas do século XX, principalmente na Europa e nos Estados Unidos da América. Em

seguida, apresenta-se informações sobre os trabalhos envolvendo moscas drosófilas como modelos biológicos experimentais nas pesquisas genéticas.

No *quinto capítulo* são apresentadas 6 (seis) propostas de estratégias didáticas para o ensino da TCH e aspectos da NdC relacionados aos episódios históricos abordados. Essas propostas configuram um conjunto de atividades que devem ser adaptadas por educadores e educadoras, de maneira a atenderem suas demandas específicas e contemplarem seus contextos de atuação, não se caracterizando, portanto, como uma espécie de “manual” a ser seguido de forma literal, ou por meio de “instruções diretivas”.

No *capítulo de conclusão (sexto)* são apresentadas as argumentações que advogam a favor da tese sobre a viabilidade de articulação entre os conceitos, abordagens e propostas metodológicas a que se propõe esta pesquisa.

Alguns dos recursos didáticos são apresentados na sessão de Anexos.

CAPÍTULO 1:

Introdução, Objetivos e Metodologia.

1.1 INTRODUÇÃO.

A Genética se configurou como uma área fundamental nas Ciências Biológicas, visto o processo histórico de constituição desse campo científico (MARANDINO, SELLES & FERREIRA, 2008). Nesse processo, as pesquisas sobre a hereditariedade alicerçaram e alavancaram os conhecimentos sobre a evolução dos seres vivos, esclarecendo a respeito das relações históricas (filogenéticas) entre as espécies e estabelecendo um pilar conceitual que sustenta grande parte do pensamento biológico contemporâneo (MAYR, 1998 e 2005; JUSTINA, 2001). Soma-se a isso o desenvolvimento da tecnologia relacionada à manipulação de informações biológicas e as potencialidades desse feito. Nesse contexto, “novas ciências” como a Biotecnologia e a Engenharia Genética ganharam força e notoriedade junto à sociedade (FURNIVAL & PINHEIRO, 2008).

Em virtude do avanço tecnológico experimentado pela sociedade contemporânea e sua influência no modo de vida das pessoas, atualmente o exercício da cidadania se encontra extremamente atrelado à compreensão individual de questões científico-tecnológicas. Dessa forma, a popularização dessas questões e, consequentemente, dos conceitos científicos atrelados a elas, assumiu caráter relativo à inclusão de determinado indivíduo ou grupo social nas discussões acerca do mundo em que se encontram. Essa inclusão prevê, ainda, a participação dessas pessoas junto às tomadas de decisões referentes aos rumos tomados pela Ciência e a repercussão disso na sociedade (DAGNINO *et al*., 2008)

Pesquisas anteriores sobre a opinião pública a respeito de questões sociocientíficas apontaram que a população brasileira conferia grande crédito ao trabalho científico, reconhecendo a relação entre seus resultados e a melhora na qualidade de vida (BRASIL, 2010; FAPESP, 2010). De acordo com Carvalho, até o ano de 2019 a população apresentava índices positivos sobre interesse e confiabilidade na Ciência.

Nas palavras da autora:

> A enquete brasileira mais recente data de 2019, portanto, traz dados do momento imediatamente anterior à pandemia de covid-19. Seus dados apontam que 61% dos brasileiros são 'interessados' ou 'muitos interessados' em assuntos de ciência e tecnologia (CGEE[1], 2019 *apud* CARVALHO, 2022).

Porém, a pandemia de Covid-19 teve um impacto significativo na compreensão pública sobre Ciência no Brasil. Apesar de a situação ter evidenciado a importância da pesquisa científica para a manutenção da vida humana, o contexto sócio-político do país favoreceu a propagação de informações falsas, que foram usadas por muitas pessoas para fundamentarem suas opiniões e ações. Anteriormente à ocorrência da pandemia, já era possível perceber movimentos críticos à Ciência, como o próprio movimento antivacina, no Brasil e em outros países. Porém, o período da crise sanitária mundial foi marcado por ataques (não somente) à Ciência, visto que autoridades políticas não reconheciam a gravidade dessa crise, incentivavam práticas não recomendáveis para aquele contexto, além de promoverem tratamentos sem embasamento científico, por meio da propagação em grande escala de narrativas enviesadas (CARVALHO, 2022).

Pesquisas na área de ensino de ciências indicam que a apropriação do saber científico por parte da população, que ocorre fundamentalmente na escola, enfrenta enormes desafios relacionados à precária estrutura na qual se organiza a educação básica (KRASILCHIK, 2004; PEDRACINI. *et al*., 2007). Essa deficiência de base educacional já foi considerada na literatura científica específica da área como uma das grandes responsáveis pela dificuldade de se democratizar o processo de participação popular sobre questões sociocientíficas. Nesse sentido, entende-se que os conteúdos de Genética, ensinados e aprendidos ao longo da formação escolar básica, também compõem o conjunto de conhecimentos científicos importantes para o processo de alfabetização científica da população.

Justina e Ripel (2003) apresentam alguns pontos relevantes quanto à importância da Genética na formação escolar e científica das pessoas, como a relação entre esses conteúdos e o desenvolvimento do raciocínio lógico matemático. Além disso, o desenvolvimento da Genética propiciou uma mudança paradigmática na área

[1] CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS: Percepção pública da C&T no Brasil – 2019: resumo executivo. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2019.

biológica, que até o final do século XIX era bastante fundamentada na herança descritiva da História Natural. A partir das pesquisas sobre hereditariedade, novas relações e parâmetros foram estabelecidos para o estudo dos seres vivos, como o compartilhamento de informações genéticas e de história evolutiva. Portanto, o ensino da Genética não deve se tratar apenas de transmissão mecânica de conhecimentos sobre genes, hereditariedade, etc., mas sim de promover uma compreensão abrangente da atividade científica e da natureza do conhecimento científico relativo ao escopo da área.

Com vistas à alfabetização científica [2](AC) e ao desenvolvimento do pensamento crítico em relação aos conhecimentos dessa área, tem-se como possibilidade o ensino de Genética pela abordagem de aspectos da natureza da Ciência (NdC), a partir de recursos e estratégias didáticas que favoreçam a contextualização desse processo, por meio de episódios da História da Ciência (HC).

É grande o registro na literatura científica sobre as potencialidades desse tipo de trabalho didático, como descrito anteriormente (GAGLIARDI & GIORDAN, 1986; LEDERMAN, 1992; MATTHEWS, 1995; BASTOS; MARTINS, 1998; LEWIS & WOOD-ROBINSON, 2000; LEITE, 2004; MARTINS & BRITO, 2006; ISZLAJI & PRESTES, 2010). Nesse sentido, a abordagem da NdC subsidia o processo de ensino e aprendizagem de forma a possibilitar o entendimento sobre a maneira como o conhecimento científico é produzido, como a atividade científica pode ser caracterizada e sobre os diferentes fatores que influenciam nessas questões, que podem ser tanto inerentes ao projeto científico, como relativos ao contexto social em que ele ocorre. No caso dos conteúdos de Genética, a compreensão sobre aspectos da NdC pode ser trabalhada a partir das relações com o trabalho experimental de pesquisa.

Além da contribuição para o ensino e aprendizagem dos aspectos da NdC, a abordagem histórica dos conteúdos científicos possibilita reflexões que ajudam a promover o pensamento crítico e compreensão da estrutura da Ciência, haja vista a

[2] Esse é um conceito amplamente debatido nas áreas de Educação e Ensino de Ciências. Não se trata de apontar definição restrita do conceito, porém, faz-se relevante explicitar que nesta tese, esse conceito será abordado de maneira análoga à discussão apresentada por Sasseron e Carvalho (2011). As autoras adotam o conceito a partir de uma abordagem freiriana sobre alfabetização em termos gerais. Assim, relacionam a alfabetização científica (AC) ao auxílio (estímulo) ao estudante, para que se torne capaz de interagir com a cultura por meio dos conhecimentos e habilidades associadas ao saber científico (conceitual e prático).

Dessa forma, as autoras apontam 3 (três) eixos estruturantes da AC, a saber: (i) compreensão de termos, conceitos e conhecimentos científicos; (ii) compreensão de fatores éticos, políticos e outros aspectos da natureza da Ciência (NdC); (iii) compreensão das relações CTSA.

relevância de aspectos políticos, econômicos, sociais e históricos na prática e na cultura científica (LAKATOS, 1970; RAZERA & BASTOS, 2020). Além disso, a HC pode promover uma aproximação dos conteúdos à realidade cotidiana das pessoas, fazendo com que reconheçam elementos familiares e acarretando identificação com o tema abordado.

Outro aspecto importante é que a HC também pode esclarecer sobre o processo de construção do conhecimento científico, revelando métodos, limitações e questões específicas encobertas pelas abordagens conceituais tradicionais. Assim, diz-se que a Ciência se apresenta mais “humanizada” e menos abstrata aos olhos dos(as) estudantes (MATTHEWS, 1995) por meio da utilização de linguagem e exemplos que tornem o conhecimento acessível ao público interessado (MATTHEWS, 2012).

No caso do ensino de Genética, a abordagem da HC pode favorecer de inúmeras formas, como, por exemplo, na elucidação sobre as questões que motivaram os cientistas a pesquisarem sobre aspectos específicos da hereditariedade, ou que os levaram a adotar determinado protocolo experimental.

Apesar de toda a produção relatada sobre a importância e as possibilidades, o ensino de Genética, principalmente quando associado à NdC e HC, também apresenta desafios a professores(as) e estudantes. A própria natureza abstrata dos conceitos abordados já acarreta relatos sobre ser uma área considerada “conceitualmente complexa” dentro das Ciências Biológicas (SCHEID & PANSERA-DE-ARAÚJO, 2002). Devido a isso, a utilização de modelos mentais se faz como recurso pedagógico necessário, porém, que exige grande esforço cognitivo para interpretação e compreensão (JANCZUR, 1994; CID & NETO, 2005; RODRIGUES & MELLO, 2005; MELO & CARMO, 2009; BRAGA, 2010; PAIVA *et. al*., 2015).

Nesta pesquisa destaca-se, especialmente, a problemática quanto à separação de conteúdos referentes aos cromossomos e aos princípios mendelianos, que dificulta a compreensão dos(as) estudantes quanto à relação estabelecida entre tais unidades biológicas (TRIVELATO, 1988; BANET & AYUSO, 2000; LEWIS, *et al*., 2000a, 200b; TOLEDO, & MARTINS, 2002).

Quanto à formação profissional docente, não apenas em relação ao ensino de Genética, mas de uma maneira geral, são comuns os registros sobre a falta de repertório e desconhecimento histórico dos(as) professores(as) em relação aos

episódios da HC. A partir disso, muitos(as) educadores(as) relatam não se sentir seguros(as) para abordar tal histórico, focando o trabalho didático principalmente nas definições conceituais e negligenciando fatores contextuais (OMETTO-NASCIMENTO, 2000; HÖTTECKE & SILVA, 2011). Por fim, também são apontadas dificuldades quanto à disponibilidade de tempo para realização de atividades fundamentadas na HC, em vista da organização curricular (SOUZA & PRESTES, 2015).

Como apontado anteriormente, aspectos da NdC e abordagem fundamentada pela HC são estratégias já bastante exploradas academicamente em vista de suas potencialidades. Apesar disso, algumas pesquisas de revisão sobre a produção da área indicam baixo número de trabalhos que apontem caminhos e estratégias factíveis para o desenvolvimento efetivo daquelas abordagens pela indicação de atividades e intervenções pedagógicas, especialmente na área das Ciências Biológicas (SILVA & GATTI, 2015; PEREIRA & TRIVELATO, 2015). Dessa forma, existe carência de estudos que avaliem a utilização da HC em sala de aula, o que chama a atenção da comunidade científica para a urgência quanto à produção de trabalhos que possibilitem a aplicação efetiva das propostas teóricas já elaboradas, além de pesquisas voltadas à produção de materiais e atividades formativas que orientem o trabalho com HC no ensino de Ciências Biológicas (CARNEIRO & GASTAL, 2005; NUNES & PECHLIYE, 2015).

Em recente trabalho de revisão sobre pesquisas envolvendo NdC e ensino de ciências, Azevedo e Scarpa (2017) avaliaram cerca de 400 (quatrocentos) artigos sobre a temática. Desses, menos de 10% (dez porcento) eram sobre ensino de Ciências Biológicas. As autoras chamaram a atenção para esse dado e alertaram sobre características específicas dessa área do conhecimento, como a grande fragmentação dos conteúdos em diversas subáreas, tais como Botânica, Zoologia e Genética. Também alertaram para a necessidade de aumento da produção desse tipo de pesquisa na área.

Portanto, esta pesquisa teve o intuito de contribuir com o trabalho e formação docente de professores(as) de Ciências e Biologia, e também de atender demandas apontadas na literatura científica em relação ao ensino de Genética e NdC na educação básica. Neste caso, serão abordados episódios relacionados à proposição

da Teoria Cromossômica da Herança (TCH), ocorridos principalmente entre a segunda metade do século XIX e as primeiras décadas do século XX.

A escolha desse tema de pesquisa deveu-se a alguns fatores. Entre eles, destaca-se a importância histórica dessa teoria em vista do avanço científico observado a partir dela. A compreensão sobre a materialização e localização dos fatores hereditários associados à estrutura celular possibilitou uma série de desdobramentos que levaram à compreensão humana sobre os mecanismos envolvidos na hereditariedade, na geração de variabilidade dentro das espécies e da abordagem populacional dessas espécies, algo que contribuiu significativamente para o movimento de Síntese evolutiva ocorrido ao longo do século XX. A partir da TCH também foi possível uma compreensão maior sobre os princípios científicos que atualmente são considerados fundamentais no campo da Genética, como a relação entre o sexo e a herança biológica; os diferentes padrões hereditários; os fundamentos da localização relativa dos genes nos cromossomos, o que se pode considerar como uma das bases teóricas para aquilo que futuramente veio a ser a tecnologia do DNA recombinante; a compreensão sobre mutações e todos os reflexos disso sobre o conhecimento evolutivo.

Além das questões conceituais, tem-se uma variedade de possibilidades quanto ao trabalho envolvendo aspectos da NdC associados a esses episódios históricos. Destaca-se nesta pesquisa a adoção de um dos modelos biológicos experimentais mais populares no campo das Ciências Biológicas, as moscas-das-frutas do gênero *Drosophila sp.*[3]. A partir desses episódios históricos, essas moscas passaram a também constituir um “seleto grupo” de seres vivos largamente utilizados como modelos em pesquisas experimentais, a exemplo das ervilhas do gênero *Pisum sp*., usadas por Mendel em seus trabalhos clássicos. Ainda em meio aos conteúdos abordados na educação básica, têm-se outros modelos como os protozoários do gênero *Paramecium sp*., utilizados em análises ecológicas sobre a dinâmica de populações sob interações de competição interespecífica, ou como as bactérias do gênero Escherichia sp., largamente utilizadas como modelo em experimentos Genéticos e associadas ao estudo da Biologia Celular. A partir do contexto e

[3] Segundo Martins (1997), à época dos episódios históricos tratados nesta pesquisa, a espécie era denominada *Drosophila amelophila*. Após reclassificação, atualmente a espécie é nomeada (e amplamente divulgada) por *Drosophila melanogaster*.

circunstâncias que levaram à adoção das “drosófilas”, como serão referenciadas nesta pesquisa, pode-se reunir vários elementos que fomentem discussões sobre NdC.

1.2 OBJETIVOS.

Tendo-se em vista o que foi apresentado anteriormente, buscou-se, por meio desta pesquisa, apresentar como tese a possibilidade de articulação entre os conceitos científicos relativos à Teoria Cromossômica da Herança (TCH), os episódios históricos relacionados a ela e aspectos da NdC associados aos mesmos, com vistas à fundamentação teórica de propostas didáticas, apresentadas como sugestões conceituais e metodológicas que solucionem desafios no ensino de Genética.

Portanto, tem-se como objetivo principal desta pesquisa apresentar sugestões de estratégias didáticas voltadas ao ensino da TCH e de conteúdos sobre NdC, contextualizadas por episódios da HC relativos à constituição de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo nos trabalhos sobre hereditariedade desenvolvidos no início do século XX.

Dessa forma, têm-se como objetivos específicos:

- Analisar o potencial didático dos episódios da HC para sua utilização em estratégias de ensino contextualizadas.
- Investigar possibilidades didáticas articuladoras entre o ensino dos conceitos abordados, a contextualização por episódios da HC e aspectos da NdC.
- Relacionar indicativos da literatura científica da área de Ensino de Ciências a propostas didáticas para o ensino da TCH, de modo a fundamentá-las em aspectos da NdC.

1.3 METODOLOGIA.

Nesta tese, utilizaram-se os referidos episódios históricos em uma das perspectivas apontadas por Bastos (1996) quanto à utilização de HC no ensino de ciências e Biologia, sendo essa, a estruturação de conteúdos e a proposição de estratégias de ensino, valendo-se de elementos da HC como fonte de inspiração. Segundo o autor, a HC pode fundamentar a seleção de conteúdos que apresentem grande potencial didático, em vista da potencialidade desses quanto a apresentarem

parâmetros para abordagem de aspectos da NdC que enriqueçam e aprimorem as concepções dos(as) estudantes sobre a Ciência e o conhecimento científico (BASTOS, 1996 e 1998; RAZERA & BASTOS, 2020).

De acordo com Martins (2005), pesquisas que envolvam HC devem assumir rigor metodológico quanto às fontes de informação. Essas devem, preferencialmente, constituir-se de fontes primárias, como documentos, publicações contemporâneas aos fatos pesquisados, diários, memoriais, correspondências, manuscritos, depoimentos, ou registros físicos que forneçam evidências diretas e originais sobre um determinado evento, período ou fenômeno ocorrido. Elas são criadas durante o tempo que está sendo estudado ou por testemunhas oculares. A autora também recomenda a utilização de fontes (secundárias e terciárias) que se aproximam das anteriores, por realizarem análises das mesmas ou de registros sobre elas, e que encaminham o trabalho de pesquisa para o conhecimento sobre o conteúdo daquelas fontes. Tem-se, portanto, a contribuição de livros, artigos, ensaios, documentários, entre outras, que interpretem e analisem os fatos históricos por meio do olhar de pesquisadores(as) profissionais dessa área (MARTINS, 2005).

Ainda, de acordo com Martins (2005), é fundamental que, em pesquisas envolvendo HC, o conteúdo das fontes deva ser analisado criticamente em vista do contexto histórico a que se refere, e as perspectivas apresentadas pelos(as) autores(as) dos fatos analisados, evitando-se assim anacronismos, reducionismos ou distorções decorrentes de simples descrições dos fatos analisados.

Dessa forma, a presente tese constitui-se em uma pesquisa bibliográfica por revisão narrativa. Embora esse tipo de pesquisa permita uma rápida atualização do conhecimento sobre um tema específico, o método utilizado não possibilita a reprodução e nem gera dados quantitativos sobre a produção analisada, devido à falta de especificação da fonte de busca dos trabalhos e sua seleção (ROTHER, 2007). Segundo Botelho e colaboradores (2011), a revisão narrativa é utilizada para descrever o estado da arte de um assunto específico, sob um ponto de vista teórico ou contextual, e, portanto, fundamentou as análises qualitativas dos materiais consultados para a elaboração deste trabalho.

Embora esse método permita uma descrição abrangente do assunto, não esgota todas as fontes de informação, uma vez que não é conduzido por meio de busca e análise sistemáticas de dados. Além disso, é importante destacar que para

levantamento de informações sobre ensino de Genética, associado à abordagem da HC e da NdC, foram utilizados trabalhos do tipo “estado da arte” e “estado do conhecimento”. Esses trabalhos buscam mapear e analisar a produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento, possibilitando a identificação de padrões, tendências e controvérsias e lacunas na literatura científica da área (ROMANOWSKI & ENS, 2006; MOROSINI & FERNANDES, 2014).

Em vista dos objetivos desta pesquisa, as etapas para seleção e análise das informações foram adaptadas a partir da proposta de Gil (2002), sendo as seguintes:

Definição do tema: A partir da literatura científica e da experiência docente do autor desta tese, identificou-se que conceitos estruturantes em Genética, como “cromossomo”, “gene”, “princípios mendelianos” e “meiose”, além de serem considerados complexos por muitos(as) estudantes, são geralmente apresentados de maneira fragmenta pelos currículos, dificultando a compreensão da relação entre eles e, consequentemente, dificultando a aprendizagem em relação aos mesmos (GAGLIARDI, 1986; BANET & AYUSO, 2000; LEWIS et. al., 2000a e 2000b).

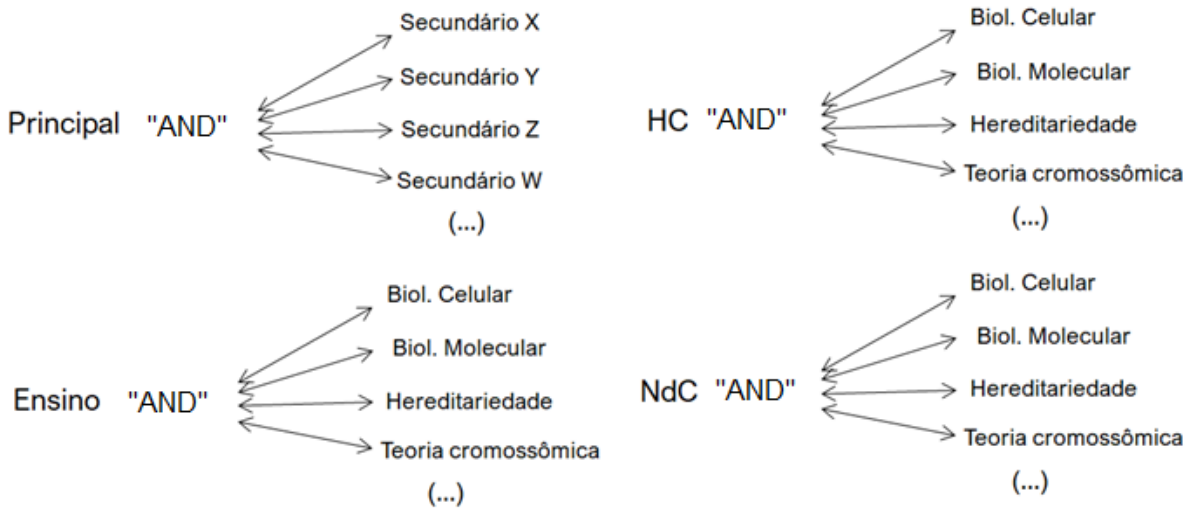
Nessa etapa delimitou-se, portanto, o período histórico e questões mais abrangentes que nortearam as primeiras investigações sobre as pesquisas científicas realizadas no início do século XX, a respeito da hereditariedade. Um dos pontos centrais dessa escolha foi o desconhecimento do autor da tese sobre detalhes específicos quanto a adução de D. melanogaster como organismo modelo. Esse desconhecimento possibilitou indagações sobre lacunas na formação docente e nos materiais didáticos.

Levantamento bibliográfico inicial: A partir das primeiras ideias sobre o tema de pesquisa, buscou-se fontes bibliográficas iniciais. A maioria das dessas fontes foram artigos científicos acessados por meio de sistemas digitais de pesquisas livres, como Google Acadêmico (*Google Scholar*), *ResearchGate*, *Academia.edu*, e por meio de bases de dados acadêmicos, como *Web of Science, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Isis Current Bibliography of the History of Science (IsisCB) e* Portal de periódicos CAPES. Também foram consultadas teses e dissertações acessadas através da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Catálogo de

Teses e Dissertações CAPES, além dos repositórios virtuais de diversas universidades brasileiras.

As buscas feitas nesses sistemas e bancos de dados digitais foram sistematizadas por meio de descritores e palavras-chave. Dois conjuntos foram organizados, a partir da abrangência atribuída a cada termo, sendo os mais abrangentes considerados *"principais"* e os menos abrangentes *"secundários"*. Dessa forma, buscou-se as fontes bibliográficas por meio de combinações sempre entre um descritor ou palavra-chave principal e um secundário. O esquema abaixo ilustra a metodologia. Como principais utilizou-se os termos: *História da Ciência, Ensino, CTSA, Natureza da Ciência, Estado da Arte* e *Estado do conhecimento*. Como secundário utilizou-se os termos: *Genética, Teoria cromossômica, Hereditariedade, Biologia Celular, Citologia, Biologia Molecular, Divisão celular, Teoria celular* e *Drosophila.*

Figura 1: Esquema ilustrativo das combinações entre descritores principais e secundários.



Fonte: o autor da tese.

Em alguns casos, houve a combinação do descritor "Ensino" como um segundo principal, criando combinações de 3 (três) no total. A seleção de material foi feita usando filtros disponíveis nos sistemas e bancos de dados, por meio dos quais selecionava-se trabalhos na área de Ensino de ciências, publicados em língua portuguesa, inglesa ou espanhola, sem restrições de ano ou fonte de publicação.

O propósito dessa etapa foi tomar contato com materiais orientassem a respeito do cenário geral relacionado às pesquisas sobre o tema em questão. Nessa etapa

foram levantadas algumas das fontes bibliográficas consideradas estruturais nesta pesquisa (MARTINS, 1997, 1998, 2002b e 2008; BASTOS, 1998; JUSTINA, 2001; MARTINS, 2006; MORI, 2012; dos SANTOS *et al.,* 2015; CALDAS, 2017; NEVES, 2020).

Formação do corpus de pesquisa: Nessa etapa desenvolveu-se uma adaptação na metodologia de pesquisa. Nos primeiros materiais consultados forma identificadas as principais referências que seus(as) autores(as) haviam utilizado. A partir disso, tais referências foram levantadas, e essas também foram analisadas quanto às referências utilizadas. Assim o tralho investigativo foi tendo seu universo amostral ampliado a cada nova referência considerada relevante para a pesquisa. Esse procedimento foi repetido até que as referências apuradas passaram a ser recorrentes com alta frequência. Dessa forma, chegou-se às principais referências utilizadas no trabalho.

Quanto ao *corpus* relativo aos conteúdos sobre a TCH e utilização de drosófilas, teve-se como referências: (i) a tese de doutoramento de Lilian Al-Chueyr Pereira Martins, assim como diversos outros trabalhos dessa autora e suas parcerias; Obras de referência compostas por livros-texto [4]elaborados por historiadores da Ciência, como (ii) *Thomas H. Morgan: The man and his Science*, de Garland E. Allen (1978); (iii) *Lords of the fly*, de Robert E. Kohler (1994) e (iv) *Science as a way of knowing: Foundations of modern Biology*, de John A. Moore (1993). Em relação aos aspectos da NdC, a principal referência foi o livro *Teaching the nature of science: perspectives & resources*, de Douglas Allchin (2013).

Para a elaboração das atividades que compõem as estratégias didáticas apresentadas nesta tese, além de diversos artigos científicos e trabalhos acadêmicos que tratassem sobre composição de material didático para ensino de NdC, utilizou-se o artigo *Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em "temas" e "questões",* de André Ferrer P. Martins (2015a). Nesse artigo, o autor sintetizou sua argumentação por meio de uma proposta orientadora para elaboração de materiais (atividades, recursos e estratégias) didáticos voltados ao ensino de NdC. Essa proposta apresentou *temas* e *questões* categorizadas de modo a contemplar detalhadamente os aspectos da NdC discutido pelo autor, porém sem que fosse

[4] O acesso ao texto integral de todas essas obras internacionais foi possível pela consulta à biblioteca virtual *Internet Archive*, disponível em (https://archive.org/) - Acesso em janeiro 2023.

oferecida uma estrutura inflexível, o que permitiu a adaptação dessa proposta ao tema em questão nesta tese. Portanto, elaborou-se questões que tratam de situações, conteúdos, fatos, etc., específicos da temática abordada na tese, a partir dos critérios apresentados por MARTINS (2015a). Essas questões se apresentam organizadas em um grande quadro, que serviu de referência na elaboração das propostas apresentadas no capítulo 4 (quatro) desta tese.

Leitura e análise do corpus da pesquisa: Após selecionadas, fazia-se a leitura exploratória das fontes bibliográficas e posterior organização das informações por meio de anotações, pastas e planilhas digitais. O objetivo nessa etapa foi de levantar informações que permitissem o entendimento dos diversos contextos relacionados à temática em questão. Não se pode afirmar que foi realizada uma análise de conteúdo estrita, visto que não foram pontuados indicadores, índices, unidades de registro, ou mesmo categorias. Porém, utilizou-se de recorrências de informações e citações para análise qualitativa.

Organização lógica do assunto e seleção dos conteúdos abordados*:* Nessa etapa foram estabelecidas as relações entre datas, pesquisas, pesquisadores, grupos e instituições de pesquisa envolvidos nos contextos, distribuição geográfica e relações de parcerias (orientadores, orientados e parceiros de pesquisa), áreas e temas de pesquisa, todos relacionados à temática principal. O objetivo foi estabelecer as possíveis influências e correlações entre os diferentes trabalhos analisados. Assim, foi produzida a narrativa histórica para abordagem do tema em questão. A seleção de atividades e estratégias didáticas foi fundamentada na literatura científica, juntamente com a experiência docente do autor da tese, professor de Biologia no EM há mais de 18 (dezoito) anos.

Em vista da opção por análises qualitativa que fundamentassem a elaboração do material didático desta tese, entende-se que a metodologia de pesquisa correspondeu à proposta de Minayo e colaboradores (2009), organizada como Ciclo de pesquisa qualitativa, o qual apresenta as seguintes etapas: (i) Fase exploratório, na qual os conceitos, metodologias e estratégias abordados na pesquisa serão organizados; (ii) Fase de trabalho em campo, na qual se realiza-se o trabalho de levantamento das informações que fundamentarão o trabalho; e (iii) Fase de análise

e tratamento dos documentos, na qual as informações são organizadas e relacionadas, de modo a habilitar a produção do trabalho acadêmico.

CAPÍTULO 2:

Ensino de Ciências Biológicas e Genética: conteúdos, conceitos, estratégias e desafios.

2.1 Conteúdos e conceitos em Ciências Biológicas

Em pesquisas anteriormente realizadas, identificou-se, a partir dos relatos de professores(as) de Biologia atuantes em escolas de Ensino Médio (EM) da rede pública do Estado de São Paulo, o apontamento de algumas dificuldades enfrentadas no processo de ensino e aprendizagem sobre conceitos científicos associados ao nível celular de observação (TANAJURA, 2017). Tal fato corroborou aquilo que já se conhecia por meio da literatura científica disponível até então, visto que a compreensão do próprio conceito de célula já se mostra como um importante desafio pedagógico para grande parte dos(as) estudantes desse nível de ensino. (BASTOS, 1992; PALMERO, 2000 e 2003; CERRI *et al*., 2001; FOGAÇA, 2006; LOPES, 2007).

Nesse sentido, há também registros sobre dificuldades dessa natureza quanto à compreensão de conceitos mais diretamente relacionados à transmissão hereditária de características biológicas entre os seres vivos, como a relação entre genes, cromossomos e o processo de divisão celular, e desses com a própria hereditariedade (BANET & AYUSO, 1998 e 2000).

Grande quantidade de conceitos de Biologia trabalhados no EM desfavorece a aprendizagem significativa e a formação científica crítica, uma vez que estimula a utilização de estratégias para a simples memorização, acarretando aprendizagem mecânica e utilitarista (MATTHEWS, 1994).

Segundo Mayr (1998 e 2005), existem duas grandes abordagens que distinguem as pesquisas no campo das Ciências Biológicas: a *Biologia Funcional* e a *Biologia Histórica*. O primeiro caracteriza-se metodologicamente pela valorização da experimentação como forma de acesso a informações que levariam à compreensão sobre processos biológicos da natureza e dos seres vivos. Já o segundo, apoia-se na narrativa histórica e na abordagem populacional dos seres vivos, para que se possa compreender sobre os fenômenos que ocorrem ao longo de diversas gerações em uma mesma linhagem genealógica, principalmente por meio de observações e

comparações, buscando assim compreender sobre os processos biológicos relativos à evolução das unidades biológicas.

Apesar de questionada por alguns autores (THIERRY, 2005; LALAND, 2011, 2013a, 2013b; CALCOTT, 2013), essa identificação de duas tradições de pesquisa fundamenta diversas argumentações sobre o estabelecimento das Ciências Biológicas como área do conhecimento e também como componente constituinte dos currículos escolares (MARANDINO, SELLES & FERREIRA, 2009). As diferenças entre as duas abordagens não se limitam apenas à questão metodológica, pois se estabelecem também na esfera epistemológica.

A Biologia Funcional, associada a áreas como a Fisiologia e a Biologia Molecular, constitui-se em pesquisas que objetivam compreender sobre o funcionamento e constituição dos organismos, tomando como unidade de análise o indivíduo ou a estrutura. Processos relacionados diretamente a eventos causais que decorrem em uma escala de tempo menor, pertinente aos indivíduos. Fala-se, portanto, *em "causas próximas"*, passíveis de serem sistematizadas por meio de modelos e mecanismos teóricos (MAYR, 2005).

Já as pesquisas que abordam a Biologia Histórica ocupam-se em investigar a origem e relações entre sistemas biológicos, em vista do processo evolutivo, evocando tais sistemas em nível populacional e objetivando compreender as alterações sofridas por grupos de seres vivos ao longo de diversas gerações. Dessa forma, a escala temporal considerada é maior, remetendo à história natural dos grupos de seres vivos. Fala-se, portanto, em *"causas últimas",* cujas restrições quanto à experimentação direta favorecem inferências comparativas que possibilitem a construção de uma narrativa histórica. Nesse sentido, é importante destacar que o autor se apoia em conceitos darwinistas, que diferem da abordagem transformista ainda persistente durante o século XIX. (MAYR, 2005, p. 36-55)

A existência dessas diferentes tradições de pesquisa nas Ciências Biológicas reflete nos conteúdos educacionais de forma que é possível associá-las a potencialidades, peculiaridades e dificuldades relacionadas ao ensino formal e à aprendizagem dos mesmos. Carvalho, Nunes-Neto e El-Hani (2011) apontam que os conteúdos conceituais relativos à Biologia Funcional são mais frequentes em materiais didáticos do que aqueles associados à Biologia Histórica. Sendo assim, propuseram, por meio dessa pesquisa, critérios claros para a seleção de conteúdo, os quais

sugerem o equilíbrio entre ambos os campos científicos, para que assim se evite a ocorrência de aprendizagem limitada. Nesse sentido, os autores argumentaram sobre a importância de se identificar e adotar conceitos estruturantes no ensino e aprendizagem de Biologia.

Em relação à problemática sobre o que se ensinar em Biologia com vistas à formação científica crítica dos(as) estudantes, é preciso conhecer os conceitos e conteúdos que fundamentam a área, tendo-se em vista que alguns assumem caráter mais abrangente enquanto outros são mais específicos.

Por reconhecer as Ciências Biológicas como área do conhecimento carente de um quadro conceitual amplo e bem definido, e fundamentada em poucas teorias científicas abrangentes, Scheiner (2010) propôs uma *"Teoria da Biologia"* tomando por base suas análises quanto ao papel desempenhado e à natureza científica da única teoria mais amplamente reconhecida na área: a evolução biológica, fundamentada nos postulados de Charles Darwin (1809-1882). Ao fazê-lo, esse autor buscou sistematizar os conhecimentos da área dentro de um quadro conceitual organizado a partir daquilo que classificou como teorias gerais, teorias constitutivas e modelos. Além de visar a compreensão sobre as causas dos fenômenos em um domínio específico, sua proposta auxilia na organização dos conteúdos a serem ensinados no processo formal de ensino, de modo a se evitar a mera descrição e enumeração dos fatos.

De acordo com Scheiner (2010), na constituição de um quadro conceitual tem-se a organização dos conceitos em níveis hierárquicos. O mais abrangente desses é determinado justamente pelas *"teorias gerais",* responsáveis por conectar diversos aspectos de um *"domínio"*, fornecendo assim, um arcabouço conceitual abrangente para a compreensão dos fenômenos. Nesse sentido, os domínios são exatamente os objetos das análises. As teorias gerais são formuladas a partir de evidências empíricas e abrangem conceitos centrais que permeiam diferentes áreas mais específicas. No caso das Ciências Biológicas, essas seriam a Botânica, a Zoologia, a Fisiologia, a Genética, entre outras.

Já as teorias constitutivas são componentes das teorias gerais. Elas abordam aspectos mais específicos dentro de um domínio e derivam dos princípios estabelecidos pelas primeiras. Apresentam, portanto, explicações mais detalhadas sobre os fenômenos, que definem os limites nos quais as representações se

estabelecem e assumem significado. Diferentes teorias constitutivas podem ser subordinadas a uma mesma teoria geral. Tem-se como exemplo a teoria da seleção.

natural que é constitutiva da teoria geral da evolução, fornecendo um mecanismo específico para explicar as mudanças nas populações ao longo do tempo.

O nível mais específico de um quadro conceitual é formado pelos modelos, que são representações simplificadas e específicas de fenômenos biológicos, frequentemente baseadas em teorias constitutivas. Eles são construções teóricas ou experimentais que ajudam a prever e explicar observações empíricas. Os modelos podem ser utilizados para simular processos biológicos complexos, testar hipóteses e prever resultados de experimentos. Tem-se como um exemplo o modelo da *"dupla hélice"*, que representa a estrutura das moléculas de DNA.

Tendo em vista essas proposições acerca dos quadros conceituais em uma determinada área do conhecimento, Scheiner (2010) propôs a Teoria da Biologia, cujo domínio é formado pela diversidade e complexidade dos seres vivos, incluindo as causas e consequências dessas. Nessa teoria, o autor fundamenta os seres vivos a partir de 10 (dez) princípios gerais, dos quais se destacam 3 (três) deles, em vista do interesse desta pesquisa: (I) *Unidade celular* – a célula é a unidade fundamental da vida; (II) *Informação biológica* – a vida requer um sistema de armazenamento, utilização e transmissão hereditária de informação biológica; e (III) *Variabilidade* – a perpetuação da vida requer capacidade de mudanças ao longo das gerações. Além desses princípios, Scheiner (2010) postulou 5 (cinco) teorias gerais, que apesar dessa classificação, estariam subordinadas à teoria da Biologia (Quadro 1).

Toma-se como referência uma das propriedades mais fundamentais dos seres vivos, que é a capacidade de gerar descendentes que apresentem características físicas (a princípio) muito semelhantes às dos genitores: a hereditariedade. Sua relevância se faz presente não "apenas" no campo das Ciências Biológicas e nos estudos sobre os seres vivos em geral, mas também na constituição da Biologia como área do conhecimento autônoma.

Apoiadas nesse referencial e em historiadores da ciência[5] como Smocovitis (1996) e Provine (1998), Marandino, Selles e Ferreira (2009) argumentam sobre a

[5] SMOCOVITIS, V. B. Unifying biology: the evolutionary synthesis and evolutionary biology. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1996.

importância dos estudos realizados no início do século XX envolvendo a hereditariedade, hoje correspondentes à Genética, na "*modernização das Ciências Biológicas*". Havia naquele período duas grandes tradições epistemológicas bem definidas nessa área. Tinha-se as ciências associadas à tradição histórica da História Natural, como a Zoologia e a Botânica, e as ciências de tradição experimental, emblematicamente representadas pela Fisiologia, pela Embriologia e por incipientes estudos relacionados às células (Citologia). Porém, em consonância com movimentos filosóficos e sociais de grande repercussão acadêmica à época, houve por parte da comunidade científica o interesse em "unificar" as Ciências Biológicas, atribuindo-lhes rigor metodológico e fundamentação epistemológica em conformidade com o *"positivismo lógico".*

Quadro 1: Definições resumidas das teorias gerais subordinadas à teoria da Biologia de Scheiner, elaborada a partir dos princípios fundamentais de cada uma.

Teoria Celular	Refere-se à estrutura e função das células como unidades básicas dos seres vivos, e unidade fundamental da vida.
Teoria dos Organismos	Estuda a organização e funcionamento dos organismos vivos. Esta teoria aborda princípios relacionados à homeostase, à forma e função dos organismos, à multicelularidade, bem como à adaptação desses organismos ao ambiente.
Teoria da Genética	Explora os mecanismos hereditários e a transmissão de características de geração em geração. Esta teoria abrange conceitos como hereditariedade, variação genética e a relação entre genes e traços fenotípicos
Teoria da Ecologia	Estuda as interações entre os organismos e seu ambiente. Essa teoria aborda princípios como cadeias alimentares, ciclos de nutrientes, dinâmica populacional e a influência dos fatores bióticos e abióticos no ecossistema.
Teoria Evolutiva	Explora a origem e o desenvolvimento da diversidade biológica ao longo do tempo. Essa teoria aborda princípios como seleção natural, adaptação, especiação e a ancestralidade comum das espécies

Fonte: Adaptação feita pelo autor da tese a partir de Scheiner (2010).

PROVINE, W.B.:El progresso em la evolución y el sentido de la vida. In: MARINEZ, S. BARAHONA, A: Historia y explicación em biologia. Mexico, 1998.

Para que as Ciências Biológicas se apresentassem como uma “ciência positiva”, a exemplo do que já havia ocorrido em áreas como a Física e a Química, foi preciso estabelecer um método comum, de maneira que possibilitasse a prática científica a partir de atividades empíricas, analisadas quantitativamente por meio de recursos lógico-matemáticos em detrimento de subjetividades. Nesse contexto, a Evolução biológica parecia poder ser um eixo unificador em potencial, em vista do prestígio científico de que dispunha junto à grande parte da comunidade científica e da universalidade com que abarcava questões comuns a todas as formas de vida conhecidas até então (MAYR, 1998 e 2005; MARANDINO *et. al.,* 2009).

Porém, a Seleção Natural, tal qual Darwin havia postulado em 1859, carecia de uma teoria cientificamente robusta sobre a herança biológica. Em seus trabalhos, o naturalista assumiu princípios semelhantes aos adotados por outros pesquisadores contemporâneos ou anteriores a ele, os quais entendiam a transmissão hereditária de caracteres a partir de estruturas fluidas (gêmulas), incapazes de esclarecer satisfatoriamente as combinações observadas na progênie, tão pouco explicavam a natureza das alterações observadas ao longo das gerações. Em vista do que se conhece atualmente, faltou também à teoria darwiniana a articulação com os fatores mendelianos, cuja natureza particulada possibilitou a análise matemática das razões fenotípicas (MAYR, 1998 e 2005).

Portanto, a constituição das Ciências Biológicas como uma área científica autônoma contou com grande contribuição dos trabalhos envolvendo a busca por modelos explicativos sobre a hereditariedade. Pesquisas envolvendo cruzamentos de espécies animais e vegetais realizados desde o século XVIII, a redescoberta dos trabalhos de Mendel ao final do século XIX e a associação desse conhecimento à teoria celular, possibilitaram mudanças na área. No campo teórico, foi possível preencher lacunas da teoria evolutiva à medida que as associações entre reprodução e hereditariedade se estabeleceram, permitindo também a utilização de modelos matemáticos para análise dos caracteres biológicos nas populações. No campo metodológico, houve incorporação e valorização da experimentação como estratégia de pesquisa.

Sobre as contribuições da Genética ao processo de “unificação” das Ciências Biológicas”, Selles e Ferreira (2005) afirmaram:

> (...) As Ciências Biológicas não haviam alcançado no século XIX o que a física conquistara no século XVIII e isto se devia, principalmente, à sua fragmentação. O surgimento e o avanço da Genética nas primeiras décadas do século XX – área do conhecimento beneficiada pelo refinamento dos métodos experimentais citológicos e por uma abordagem quantitativa -, aliado à influência do Positivismo Lógico e aos movimentos políticos e artísticos ocorridos no âmbito das duas grandes guerras, promoveram uma ressignificação do darwinismo e, consequentemente, ganhou força a ideia de unificação das Ciências Biológica. (SELLES & FERREIRA, 2005, p. 53)

2.2 Estratégias e desafios no ensino de Genética.

Em dissertação de Mestrado, Nascimento (2003) analisou conteúdos de genética abordados nas questões das provas de Biologia referentes aos concursos vestibulares realizados pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), entre os anos de 1991 e 2001. Segundo essa autora, tal análise justificou-se, pois “temas de genética” faziam parte de discussões cotidianas no início do século XXI, impulsionadas pelos avanços científicos da área registrados à época, como a produção e consumo de alimentos transgênicos, a clonagem de mamíferos, o Projeto Genoma Humano e a emergência da Biotecnologia como área do conhecimento. Naquela pesquisa, foram apontados os principais temas e conclusões de trabalhos apresentados em diferentes eventos científicos[6] realizados no Brasil entre a década de 1980 e início dos anos 2000, explicitando parte da produção acadêmica nacional daquele período sobre o ensino de genética especificamente. Destaca-se a maior produção de trabalhos envolvendo elaboração / utilização de materiais didáticos (29)[7], conceitos e contextualização de temas em Genética (21), avaliação do ensino em Genética (19), conteúdos de genética no Ensino Médio (11) e Evolução (09).

Dentre os mais de 100 (cem) trabalhos apontados naquela dissertação, destacam-se aqui os que trataram de temáticas comuns às enfocadas nesta tese. Entre esses, 8 (oito) abordaram as relações conceituais existentes entre estruturas e processos celulares, e fenômenos biológicos como reprodução, hereditariedade e

[6] Os eventos analisados foram os Encontros “Perspectivas do Ensino de Biologia – EPEBs (1ª à 8ª edição, entre 1984 e 2002), os Encontros Nacionais de Pesquisa em Educação – ENPECs (1ª à 3ª edição, entre 1997 e 2001) e os Congressos Nacionais de Genética – CNGs (44ª à 48ª edição, entre 1998 e 2002).

[7] Os valores entre parênteses representam as quantidades de trabalhos referentes a cada categoria, somadas entre todas as edições e eventos analisados

evolução. Nesse sentido, foram apontadas propostas de atividades e ferramentas didáticas cujos objetivos eram evidenciar as articulações entre a produção de células reprodutivas através de meiose, a base cromossômica dos processos de segregação, ligação e recombinação de genes, os cruzamentos realizados em genética e a construção de mapas genéticos (CARVALHO *et al.*, 2000; JANCZUR, 1994). Tais articulações entre esses e outros conceitos, como *DNA, genes, composição celular dos seres vivos* e *etapas do ciclo celular*, foram identificadas em alguns dos trabalhos apontados como importantes razões de dificuldades associadas ao ensino e aprendizagem dos conteúdos de genética (CAMPOS & NIGRO, 1994; SILVEIRA & AMABIS, 2002).

Possivelmente por essa razão, outros trabalhos ocuparam-se em identificar as concepções apresentadas por estudantes e professores(as) da educação básica, como também de graduandos, sobre aqueles conceitos, além de definições constantes em livros didáticos. Em geral, os resultados desses trabalhos indicaram a ocorrência de muitas concepções equivocadas e até erros conceituais, chamando a atenção da comunidade científica para os processos de formação escolar, docente e de elaboração de materiais didáticos (MARRERO & MAESTRELLI, 2001; CAMARGO *et al*., 2002; TOLEDO & MARTINS, 2002).

Discussões sobre o conceito de *hereditariedade* ocorreram explicitamente em 4 (quatro) dos trabalhos apontados. Foram levantadas as concepções apresentadas por estudantes da educação básica e graduandos, como também a abordagem do mesmo em documentos curriculares. De forma geral, os resultados revelaram dificuldades específicas quanto à compreensão desse conceito, acarretando discussões sobre estratégias para superação das mesmas. Nesse sentido, destacou-se a relevância da abordagem histórica e de aspectos sociais e metodológicos envolvidos com a prática científica, tanto no processo de ensino quanto na elaboração dos materiais didáticos. (CANTIELLO & TRIVELATO, 2001 e 2002; FERRARI, 2002a; SANTOS *et al.*, 2002).

O mesmo foi apontado em outros trabalhos que não discutiram especificamente sobre hereditariedade, mas abordaram questões como: a relevância histórica e filosófica dos trabalhos de Mendel; a necessidade de estratégias didáticas que estimulem o contato direto com metodologia científica, visando o esclarecimento sobre a prática e formação dos cientistas; e a importância de livros didáticos explicitarem

aspectos metodológicos envolvidos com os conceitos explorados (JUSTINA, ROSA & FERRARI, 2000; LEITE, FERRARI & DELIZOICOV, 2001; LEYSER da ROSA & EL-HANI, 2000; VIDOTTO *et al.,* 2002 ; WUO, 2002).

Ainda sobre dificuldades relativas ao ensino e aprendizagem de genética especialmente no EM, Reznik (2006) apresentou outros exemplos a partir da literatura[8] específica da área de Ensino produzida entre as décadas de 1980 e 2000.

Possivelmente por essa razão, outros trabalhos ocuparam-se em identificar as concepções apresentadas por estudantes e professores(as) da educação básica, como também de graduandos, sobre aqueles conceitos, além de definições constantes em livros didáticos. Em geral, os resultados desses trabalhos indicaram a ocorrência de muitas concepções equivocadas e até erros conceituais, chamando a atenção da comunidade científica para os processos de formação escolar, docente e de elaboração de materiais didáticos (MARRERO & MAESTRELLI, 2001; CAMARGO *et al*., 2002; TOLEDO & MARTINS, 2002).

Discussões sobre o conceito de *hereditariedade* ocorreram explicitamente em 4 (quatro) dos trabalhos apontados. Foram levantadas as concepções apresentadas por estudantes da educação básica e graduandos, como também a abordagem do mesmo em documentos curriculares. De forma geral, os resultados revelaram dificuldades específicas quanto à compreensão desse conceito, acarretando discussões sobre estratégias para superação das mesmas. Nesse sentido, destacou-se a relevância da abordagem histórica e de aspectos sociais e metodológicos envolvidos com a prática científica, tanto no processo de ensino quanto na elaboração dos materiais didáticos. (CANTIELLO & TRIVELATO, 2001 e 2002;

Em sua pesquisa, a autora destacou registros sobre a influência de concepções alternativas dos(as) estudantes nos processos didático-pedagógicos, dificuldades de compreensão quanto à natureza das informações genéticas, sua relação com os mecanismos de reprodução e sua localização na estrutura celular. Pontuou também sobre dificuldades quanto à desarticulação entre conceitos fundamentais da área, como DNA, cromossomos, divisão celular e os princípios mendelianos. Mesmo esses sendo frequentes objetos de estudo em pesquisas da área, sua abordagem em

[8] STEWART *et al*., 1990; TOLMAN, 1982; (LEWIS, LEACH & WOOD-ROBINSON, 2000, CANTIELLO & TRIVELATO, 2001; MARBACH, 2001; SILVEIRA & AMABIS, 2003; BANET & AYUSO, 2003 BONZANINI & BASTOS, 2003 EL-HANI *et al*., 2007

currículos e materiais didáticos analisados naquele período ainda ocorriam por meio de conteúdos abordados de maneira fragmentada.

Por fim, também foram identificadas dificuldades quanto à resolução de problemas padronizados, que favorecem o desenvolvimento de habilidades analíticas e matemáticas em detrimento da compreensão dos conceitos genéticos envolvidos; quanto ao vocabulário técnico específico, utilizado frequentemente de maneira ambígua ou errônea; e quanto à reduzida exploração das relações ciência-tecnologia-sociedade (CTS) nos conteúdos, e de temas contemporâneos abordados pela mídia, como clonagem, organismos transgênicos e terapias gênicas. Destacam-se ainda os registros sobre a abordagem simplista e o discurso determinista em relação ao conceito de gene, presente em alguns materiais didáticos avaliados à época.

Em pesquisa posterior, Goldbach e Macedo (2008), após analisarem 117 (cento e dezessete) trabalhos apresentados em diferentes eventos[9] acadêmicos da área, realizados entre os anos de 2001 e 2006, apresentaram sugestões para o enfrentamento daquelas dificuldades. Entre essas, destaca-se aqui a necessária articulação e integração de conteúdos envolvendo a constituição gênica de cromossomos, suas relações com as divisões celulares, com a expressão dos genes e a complexidade dos genomas. Em suas considerações, as autoras exaltaram as propostas para a superação da abordagem fragmentada dos conteúdos, contidas nos materiais analisados por elas, como também, a importância pela busca de atividades didáticas diversas que visem o esclarecimento das relações entre o DNA, os cromossomos e os processos celulares, para “o estabelecimento de conhecimentos basilares” da área.

Ao apresentarem suas reflexões, Melo e Carmo (2009) relataram a respeito da “incipiência” de pesquisas sobre ensino de Genética e, sobretudo, de Biologia Molecular no EM brasileiro, à época do estudo. Esse trabalho consistiu em uma ampla análise feita a partir de materiais provenientes de pesquisas publicadas em revistas, periódicos e anais de eventos de divulgação acadêmica da área, entre os anos de 1999 e 2008. Nesse corpus, destacou-se a produção da Revista Genética na Escola (RGE), indexada pela Sociedade Brasileira de Genética. Segundo aqueles autores, poucas pesquisas abordaram conteúdos específicos de Genética e Biologia Molecular ao investigarem livros didáticos utilizados em aulas de Biologia para o EM. Quanto à

[9] Revista Genética na Escola (RGE); Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular (RBEBBM); Anais do I Encontro Nacional de Ensino de Biologia (ENEBIO) e III Encontro Regional de Ensino de Biologia da Regional RJ/ES (EREBIO) Revista Ensaio – Pesquisa em educação em ciências; Revista Ciência & Ensino; Revista Ciência & Educação; Revista Arquivos do Mudi; Revista Estudos em Avaliação Educacional ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências

contextualização histórica, quase todos os trabalhos dessa natureza enfocavam a proposição do modelo da dupla hélice de DNA. Sobre o vocabulário técnico e específico, comumente considerado complexo, os autores apontaram influência das propostas curriculares norteadas pela divulgação midiática dos conteúdos mais contemporâneos.

Em um trabalho auto identificado como “estado da arte”, Marin e Vinholi Júnior (2020) analisaram a produção sobre ensino de Genética no Brasil a partir de trabalhos levantados junto à Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) ao Banco de Teses e Dissertações da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), publicados entre os anos de 2004 e 2019. Ao todo, foram analisados 38 (trinta e oito) trabalhos, divididos em 33 (trinta e três) dissertações de mestrado e 5 (cinco) teses de doutorado. Entre os temas mais recorrentes nas pesquisas, apontaram a genética mendeliana, o DNA e os cromossomos. Já entre as principais dificuldades enfrentados por estudantes e professores(as), apontaram a complexidade dos conteúdos, em vista do alto grau de abstração dos conceitos, o que dificultaria o estabelecimento claro de relações entre esses e a realidade cotidiana experimentada pelas pessoas.

Rosa e Almeida (2021) analisaram 22 (vinte e dois) trabalhos apresentados ao longo de 9 (nove) edições[10] do ENPEC, cujos temas principais tratavam sobre relatos de experiência, tanto na educação básica, como no nível superior, envolvendo conteúdos de Genética. Em vista da importância da Genética em contextos e fenômenos sociais como testes genéticos para identificação biológica, produção de alimentos e organismos geneticamente modificados (OGM), entre outros, as análises foram feitas em vista de duas perspectivas teóricas: o pluralismo metodológico e o multiculturalismo crítico. Nessa pesquisa, as autoras reiteraram apontamentos já presentes na literatura científica, como a ocorrência de dificuldades no ensino e aprendizagem dos conceitos genéticos, associadas à própria complexidade da formação dos conceitos envolvidos com fenômenos biológicos estudados na área, ou à descontinuidade de conteúdos comumente verificada em propostas curriculares. Ilustraram isso citando a separação entre conteúdos sobre natureza química do DNA e divisões celulares, abordados em Biologia Celular, separadamente dos princípios mendelianos, abordados em Genética.

[10] O trabalho mais antigo foi apresentado na 4ª edição do evento, ocorrida em 2003 e os mais recentes, na 11ª edição, ocorrida em 2017.

Ao analisarem as abordagens didáticas sob 3 (três) dimensões diversas (epistemológica, intercultural e política), as autoras identificaram poucos trabalhos que promoveram discussões ou problematizações mais críticas sobre o caráter cientificista e monocultural associado aos conteúdos trabalhados, uma vez que em sua maioria visavam contribuições para aprendizagem dos conceitos exatamente conforme se apresentam nas orientações curriculares e nos livros didáticos. O mesmo foi apontado sobre as abordagens históricas nos trabalhos. Quanto a isso, explicaram sobre grande parte dos(as) autores(as) enfatizarem exclusivamente aquilo que encontram nos livros didáticos sobre o conteúdo histórico, o que frequentemente é apresentado nesses materiais como "apêndices" ou textos de conclusão dos capítulos, configurando um "menor valor" a esse conhecimento. Associaram isso a uma tradição cientificista dos cursos de formação docente. Por fim, identificaram essa lacuna de trabalhos que explorem a construção histórica e social do conhecimento, na amostra analisada.

Após realizarem extenso trabalho de revisão bibliográfica envolvendo pesquisas *stricto sensu* sobre ensino de Genética elaboradas entre os anos de 1999 e 2019, disponíveis na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações Brasileiras (BDTDB) do Instituto Brasileiro de Informações em Ciência e Tecnologia (IBICT), Gambin, Scheid e Leite (2021) publicaram um trabalho do tipo "estado do conhecimento" no qual apontam tendências e silenciamentos da área, ao longo de 30 (trinta anos). Os 39 (trinta e nove) trabalhos explorados abordaram 8 (oito) diferentes objetos de análise, como recursos e livros didáticos, questionários, propostas curriculares, entre outros. Em relação às abordagens que apresentaram para o ensino de Genética, foram divididos em 3 (três categorias), sendo essas: (I) Estudos que tratam de *aspectos históricos* do ensino de Genética; (II) Estudos acerca dos *conceitos* de Genética trabalhados na Educação Básica e (III) Estudos de aspectos da *Genética Moderna*[11].

Ressalta-se aqui a importância daquele trabalho na composição do *corpus* desta pesquisa, em vista da contribuição dada pelo mapeamento realizado pelas autoras. Por meio dele, foi possível a identificação de 8 (oito) pesquisas diretamente relacionadas à abordagem da HC no ensino de Genética, indicando, por exemplo, um hiato na produção desses trabalhos entre os anos de 2006 e 2016. Além disso, um

[11] Ao longo do trabalho e explorando o material indicado pelas autoras, conclui-se que Genética Moderna faz referência aos conteúdos específicos de Biologia Molecular, Biotecnologia e Bioética.

desses estudos possibilitou-nos aproximação com alguns dos referenciais teóricos e materiais considerados nesta pesquisa.

Entre suas considerações, as autoras afirmaram que questões metodológicas, concepções de ensino e a diversidade dos recursos pedagógicos foram preocupações frequentes dos pesquisadores envolvidos, algo que elas associaram a estratégias para superação da fragmentação dos conteúdos de Genética presentes nas diversas propostas curriculares do país e que se configura como um desafio largamente apontado nos registros acadêmicos. Também atestaram expressiva produção de pesquisas envolvendo a abordagem CTSA nos conteúdos de Genética, especialmente em relação ao que chamaram de Genética Moderna.

Apesar dos avanços relatados na pesquisa, houve também reforço sobre dificuldades enfrentadas sobretudo por estudantes, associadas à complexidade dos conceitos genéticos, fazendo-se necessário o aprofundamento rigoroso de investigações sobre as causas das mesmas. As pesquisas envolvendo livros didáticos revelaram ocorrência de grande descontextualização dos conteúdos em relação à realidade cotidiana, ainda que se tenha a divulgação de inovações científicas por meio das mídias, e abordagem fragmentada dos mesmos, exemplificada pelos apontamentos sobre o estudo da divisão celular.

Sobre isso, referenciam a dissertação de Manzke (1999) sobre as relações entre professores(as) de Biologia e livros didáticos para o ensino de Genética no EM. Nesse trabalho, o autor argumenta sobre a importância da associação didática entre os conceitos de mitose e meiose, e os conhecimentos básicos sobre os princípios mendelianos e a formação de gametas. Ademais, qualifica esses conteúdos como “temas embasadores” no estudo da Genética.

Por fim, apesar de terem sido produzidas em épocas distintas, as duas últimas pesquisas mencionadas apontam para a utilidade de investigações detalhadas quanto ao processo histórico de formação dos conceitos estudados. Na primeira, as autoras apontam uma centralização dos trabalhos avaliados nos episódios históricos envolvidos com o modelo da dupla hélice e com os princípios mendelianos fundamentais. Já na última pesquisa, o autor critica a abordagem meramente ilustrativa com que os episódios históricos geralmente são apresentados nos livros didáticos.

Conforme apontado anteriormente sobre as diversas dificuldades enfrentadas por estudantes e professores(as) no ensino de Genética, principalmente na educação básica, um grande desafio identificado na literatura científica da área trata sobre a clareza em relação à localização das informações genéticas nas células. Em trabalho apresentado na 4ª (quarta) edição do ENPEC, da Silveira e Amabis (2003) constataram que, apesar de apontarem corretamente sobre a existência de cromossomos e genes nas células reprodutivas, estudantes concluintes do EM apresentavam confusão quanto às relações entre componentes e processos celulares, principalmente a divisão dessas, e a localização dos genes nos cromossomos.

Essa pesquisa corroborou constatações de trabalhos anteriores e contemporâneos a ela realizados fora do Brasil. Banet e Ayuso (2000), por exemplo, registraram confusões significativas por parte de estudantes espanhóis, quanto à localização das informações genéticas nas células. Também registraram afirmações sobre cromossomos e genes existirem exclusivamente nos gametas e em células sanguíneas, além de uma série de conceitos fundamentais que são mal interpretados pelos(as) estudantes, como não compreenderem completamente o que são cromossomos, genes e alelos, interpretações errôneas sobre os termos homozigoto e heterozigoto, e concepções alternativas sobre o processo de meiose.

Em pesquisa envolvendo estudantes do Reino Unido, Lewis, Leach e Wood-Robinson (2000) relataram que os mesmos compreendiam a relação entre expressão gênica e fenótipo, porém registraram afirmações sobre cromossomos serem compostos por células, evidenciando assim dificuldades quanto à aprendizagem desses conceitos. Dessa forma, concluíram ser necessário grande esclarecimento sobre as relações entre estruturas celulares e hereditariedade, especialmente no que se refere aos genes e aos cromossomos, para que estudantes consigam aprender efetivamente sobre a importância dos processos de divisão celular e fecundação na manutenção das características físicas dos seres vivos ao longo das gerações e, consequentemente, nas espécies a que pertencem.

Analisando todas essas pesquisas brasileiras a respeito do ensino e aprendizagem de Biologia no EM, e destacando-se especificamente aquelas que tratam sobre conteúdos da área de Genética, é possível perceber que a literatura científica reúne diversas discussões e reflexões sobre os desafios enfrentados por

estudantes e professores(as), como também inúmeras propostas e sugestões para superação dos mesmos. Além disso, é possível considerar que o conjunto de trabalhos analisados e referenciados até este momento nesta pesquisa permite que se esboce um panorama geral da área, tendo-se em vista a reunião de informações provenientes de artigos científicos, eventos acadêmicos e pesquisas realizadas em programas de pós-graduação da mesma, desde a década de 1980 até o presente momento.

CAPÍTULO 3:

Natureza da Ciência e História da Ciência: ensino, aspectos, consensos e contextos.

3.1 Aspectos da Natureza da Ciência (NdC) no ensino de ciências.

Na atual sociedade contemporânea, o conhecimento científico é associado, entre outras coisas, à capacidade individual de participação social, mediante compreensão e tomada de decisões quanto a situações cotidianas relacionadas a temáticas científicas. Tais questões apresentam-se em diferentes esferas da vida social, como saúde, tecnologia, comunicação, normas e padrões de comportamento, educação, trabalho, economia, entre outras (PRIA, GIL-PÉREZ & VILCHES, 2007). Pode-se inferir, portanto, que atualmente o conceito de cidadania apresenta forte conexão com a compreensão dos avanços científicos, tendo em vista a importância da participação popular junto às decisões sobre os objetivos futuros da Ciência (DAGNINO, LIMA & NEVES, 2008).

Assim, entende-se que lacunas no ensino e na aprendizagem de conceitos científicos durante a formação escolar possam interferir na participação popular em discussões sobre temas científico-tecnológicos de grande valor e impacto social. O papel da educação científica neste contexto não é, portanto, apenas de transmissão de conhecimento, mas de promoção da alfabetização científica, que fundamenta a tomada de decisões informadas sobre questões pessoais e sociais (LEDERMAN, LEDERMAN & ANTINK, 2013). Segundo Sasseron e Carvalho (2011), alfabetização científica se articula por meio da compreensão de termos e conceitos científicos fundamentais, de aspectos da NdC e das relações entre Ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente CTSA.

Diante disso, entende-se que a importância do conhecimento científico e a influência da NdC na educação científica são profundas, pois interferem na forma como a Ciência é ensinada e aprendida, e também têm o potencial de preparar as pessoas para serem membros informados numa sociedade cientificamente alfabetizada. Segundo Bejarano, Aduriz-Bravo e Bonfim (2019), uma pessoa cientificamente alfabetizada domina não somente os conceitos científicos, mas também os processos envolvidos com a produção e constituição desse conhecimento,

algo que demanda esclarecimento quanto às características desse saber, como também, sobre as múltiplas relações existentes entre os contextos científico, social, político, histórico, econômico e filosófico em que ele ocorre. Para esses autores, os aspectos da NdC são relativos ao conjunto de características da atividade científica, tanto no contexto internalista (métodos e teorias), como no contexto cultural e social.

O não conhecimento sobre mínimos aspectos da NdC pode levar à formação de concepções reducionistas, acríticas e descontextualizadas sobre a Ciência, o que, sob a óptica da educação científica, pode acarretar dificuldades como falta de interesse e a memorização mecânica de um conjunto imenso de informações sem sentido ao(à) aprendiz (MATTHEWS, 1995).

De acordo com Lederman (2007), aspectos da NdC são os saberes que levam as pessoas a compreenderem como a Ciência é feita e como o conhecimento científico é gerado, validado e divulgado. Envolve também os fatores que influenciam e que são influenciados pela Ciência, como o arcabouço filosófico, epistemológico, histórico e cultural envolvidos com a prática científica. Apesar de definições assim existirem, há um grande debate sobre ser realmente possível definir os aspectos da NdC, tendo-se em vista as mudanças no campo científico ao longo da História. Segundo Alters (1997), não existe apenas uma única definição de NdC, haja vista discordâncias apresentadas por filósofos da Ciência sobre a conceituação do próprio campo de conhecimento. Para Chalmers (1993), diferentes áreas do conhecimento, com práticas, métodos e epistemologias distintas, somente poderiam ser agrupadas sob a mesma conceituação se essa fosse caracterizada de forma muito geral e ampla.

Diferentes trabalhos de revisão sobre a temática apontam a existência de duas linhas de pesquisa, sendo uma delas a defesa de listas consensuais sobre os aspectos da NdC, principalmente com vistas ao ensino e educação científica, e a segunda composta por propostas que questionam a possibilidade de tal consensualidade, apresentando propostas alternativas de se definir aqueles aspectos (MOURA, 2014; AZEVEDO & SCARPA, 2017; SILVA & de MELLO MATTOS, 2022).

No início de seu trabalho de revisão, Silva e de Mello Mattos (2022) apresentaram um resumo cronológico sobre a pesquisa envolvendo aspectos da NdC e educação científica no Brasil e no mundo. Apontaram registro de publicação desde 1907 nos Estados Unidos (EUA), mas fizeram um retrospecto mais detalhado a partir da década de 1920, na qual já se registravam preocupações sobre a questão didática

envolvendo aulas práticas. Nos anos 1940, houve nas pesquisas envolvendo NdC avanços no aspecto sociológico, tendo em vista as preocupações em caracterizar a Ciência como atividade humana. A partir dos anos 1950, houve organização de pesquisas quanto à inserção de educação científica nos currículos escolares, adotando investigações científicas como estratégias didáticas para o desenvolvimento do conhecimento científico por parte dos(as) estudantes estadunidenses.

Na década de 1960, foram realizadas as primeiras pesquisas envolvendo propostas metodológicas para investigação sobre concepções e visões sobre Ciência, apresentadas por diferentes grupos como estudantes, professores(as), graduandos(as) e cientistas. Essas ferramentas consistiam em testes padronizados e validados pela comunidade científica da área. Citam como exemplo o questionário TOUS (*Test Understanding Science*), proposto por Cooley e Klopfer[12], em 1961. A partir dos anos 1970 e 1980, a abordagem histórica (HC) passou a ser explorada como recurso didático para o desenvolvimento sobre NdC na educação científica. Houve aumento das pesquisas sobre aspectos culturais associados ao conhecimento científico, e o papel da NdC no letramento científico dos(as) estudantes. Finalmente, a partir dos anos 1990 foram apresentadas as primeiras revisões de literatura sobre NdC que passaram a constituir os trabalhos clássicos da área (LEDERMAN, 1992; MEICHTRY, 1993; MATTHEWS, 1994; MCCOMAS, 1998).

Ainda de acordo com a revisão feita por Silva e de Mello Mattos (2022), os trabalhos sobre NdC no ensino científico no Brasil foram produzidos a partir da década de 1980. Foram analisadas as concepções de Ciência apresentadas em livros didáticos. Posteriormente, foram feitas pesquisas sobre as mesmas concepções, porém apresentadas por professores(as) e estudantes. Ao final dos anos 1990, os aspectos da NdC foram apontados nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – PCNEM (Brasil, 1999), passando a ser adotados como conteúdos fundamentais no processo de alfabetização científica.

O aumento de publicações científicas nacionais sobre o tema, a partir dos anos 2000, possibilitou que revisões sobre tais pesquisas fossem produzidas a partir de então. Alguns desses trabalhos apresentaram, entre seus resultados e análises, haver consenso entre os(as) pesquisadores(as) brasileiros(as) sobre a ocorrência de concepções desatualizadas sobre NdC em livros didáticos brasileiros. Os(As)

[12] Cooley, W. W., & Klopfer, L. E. (1961). TOUS: Test on understanding science. Princeton, NJ: Education Testing Service.

mesmos(as) também concordam sobre a potencialidade de superação das concepções equivocadas a partir do ensino de NdC associado a conteúdos da História e Filosofia da Ciência (HFC), algo classificado como desafiador pela maioria daquelas pesquisas (VILAS BOAS et al., 2013; SILVA et al., 2015).

Essa expansão das pesquisas sobre NdC no Brasil se relaciona diretamente com o crescimento científico das áreas de Educação e Ensino de Ciências, decorrente do aumento no número de programas de pós-graduação nessas áreas. Tal apontamento foi corroborado por dados de pesquisas sobre a distribuição da produção científica brasileira envolvendo NdC, em vista dos veículos de publicação (periódicos), instituições associadas a esses e as regiões do país em que tais instituições se encontram (DELIZOICOV, SLONGO & LORENZETTI, 2013; AZEVEDO & SCARPA, 2017; KRUPCZAK & AIRES, 2018).

3.2 Aspectos consensuais e a abordagem contextualizada da NdC.

De acordo com parte da comunidade científica que pesquisa sobre NdC, ao abordarmos essa temática relacionando-a ao ensino de Ciências, deve-se atentar para ideias consensuais sobre as características que qualificam a atividade e o conhecimento científico. (PUMFREY, 1991; LEDERMAN, 1992; MCCOMAS et al., 1998 a, b; GIL-PÉREZ et al., 2001, LEDERMAN et al., 2002; OSBORNE et al., 2003).

Em seu trabalho sobre a HC no currículo da educação básica inglesa, Pumfrey (1991), defendeu a importância de mudança de foco no ensino de ciências, da ênfase no conteúdo científico para a compreensão mais ampla do papel humano, intelectual e social da Ciência. Segundo o autor, à época de sua pesquisa, a abordagem da NdC no contexto educacional era tomada como uma oportunidade para os(as) estudantes não apenas entenderem os avanços científicos, mas também para questionarem as diferentes visões sobre a NdC, incluindo suas dimensões culturais e sociais. Também enfatizou a necessidade de os(as) estudantes desenvolverem conhecimento sobre como as ideias científicas mudam ao longo do tempo e são influenciadas pelo contexto social, moral, espiritual e cultural em que se desenvolvem. No entanto, seu texto também apontou para a complexidade e a falta de consenso sobre a definição exata da NdC. Enquanto alguns(as) educadores(as) adotavam uma visão mais construtivista, outros(as) mantêm uma visão mais objetivista da Ciência.

Sobre a complexidade inerente à definição precisa da NdC, Pumfrey (1991) observou que a busca por uma resposta sobre o que, de fato, é NdC, configurava-se como um desafio acadêmico, decorrente da inexistência de um acordo geral entre diferentes correntes de pensamento. Nesse sentido, a variação de opiniões e interpretações sobre a NdC refletiria a complexidade inerente ao próprio empreendimento científico. Enquanto alguns(as) pesquisadores(as) adotam uma abordagem mais positivista, outros(as) se inclinam para uma visão mais construtivista, gerando assim debates enriquecedores e diversificados. Dessa forma, segundo o autor, a falta de um consenso definitivo sobre a NdC revelaria a dinamicidade e a maleabilidade deste campo de estudo, demonstrando que a compreensão plena da Ciência transcende uma definição estática, abrindo espaço para uma reflexão contínua e aprofundada sobre os elementos que constituem a prática científica em sua essência.

Como apresentado anteriormente, a partir da década de 1990 a produção científica sobre abordagem de NdC no ensino já possibilitava a realização de revisões para avaliação da produção científica da área e identificação de tendências, referenciais, lacunas, etc. Nesse contexto, Lederman (1992) analisou pesquisas sobre as concepções de NdC apresentadas por estudantes e professores(as), realizadas ao longo das 4 (quatro) décadas anteriores à sua publicação (AZEVEDO & SCARPA, 2017). Com isso, o pesquisador tentou caracterizar tais concepções, como também, investigar possíveis relações entre elas, decorrentes do processo didático-pedagógico.

Nessa pesquisa, Lederman (1992) classificou os trabalhos por ele analisados em 4 (quatro) categorias: (I) sobre as concepções de estudantes sobre NdC; (II) sobre as concepções de professores(as) sobre NdC; (III) sobre concepções de NdC presentes em documentos curriculares; e (IV) sobre possíveis interferências das concepções dos(as) professores(as) em sua prática docente, como também, possíveis reflexos disso nas concepções apresentadas pelos(as) estudantes. Essa última categoria de análise buscou enfocar questões já levantadas à época sobre a importância central da ação docente em relação ao ensino envolvendo NdC (CLEMINSON; MATTHEWS, 1990).

Os principais resultados e conclusões sobre essas categorias são os seguintes:

- Estudantes, em sua grande maioria, apresentaram concepções equivocadas sobre NdC, com a ideia de o conhecimento científico ser absoluto; o objetivo da Ciência é descobrir leis e verdades sobre o mundo natural; não identificação das relações entre fundamentação teórica e experimentação, ou entre teorias e modelos; e a desconsideração da criatividade no processo de produção científica.

- Assim como o grupo anterior, foram observadas concepções equivocadas sobre NdC também entre os(as) professores(as), porém, houve identificação de melhores possibilidades para superação do que no grupo anterior. Foi observado um forte posicionamento empírico-indutivista; a percepção de que explicações científicas são descrições fiéis da realidade (realismo ingênuo); grande valor e confiabilidade atribuídos ao “método científico”, entendido como único e infalível; e entendimento sobre a superioridade do conhecimento científico em relação aos demais saberes.

- As alterações curriculares para o desenvolvimento promoção do desenvolvimento na concepção de NdC dos(as) estudantes foram pouco efetivas, não sendo esse, portanto, um fator relevante para a geração dos resultados pretendidos.

- A atuação docente apresentou-se como o principal fator gerador de mudança nas concepções sobre NdC dos estudantes, ainda que as concepções apresentadas pelos(as) professores(as) não fossem adequadas à proposta curricular. As análises revelaram também que as ações docentes poderiam ser contraditórias em relação às concepções dos(as) professores(as), portanto, mesmo que esses(as) apresentassem visão mais crítica sobre a Ciência e o conhecimento científico, suas atitudes, atividades e decisões poderia refletir aspectos distorcidos da NdC, sendo esses os mais influentes sobre os(as) estudantes, justamente por estarem presentes na prática.

Em pesquisa sobre a importância da NdC na educação científica, McComas, Almazroa e Clough (1998a) apresentaram uma definição conceitual para fins educacionais e defenderam um consenso pragmático sobre os tópicos mais

importantes da NdC para uma sociedade cientificamente alfabetizada. Além disso, enfatizaram a necessidade o ensino científico relacionado a discussões sobre os aspectos da NdC assumir um papel mais proeminente nas propostas curriculares. Também sugeriram que uma descrição rica e útil do que é a Ciência e de como funciona, pode ser alcançada combinando aspectos de vários estudos sociais da ciência, como História, Sociologia e Filosofia da Ciência. Por fim, defenderam um projeto de educação científica que permita professores(as) e estudantes obter uma compreensão abrangente da NdC, o que entendem ser essencial para o desenvolvimento da alfabetização científica e da cidadania responsável.

Essas e outras pesquisas buscaram apresentar listas sobre aspectos da NdC que seriam consensuais entre parte da comunidade científica. Ao analisarem as concepções de NdC apresentadas por professores(as) e consideradas distorcidas, Gil-Pérez e colaboradores (2001) ponderaram que mesmo não impedindo a transmissão de conhecimentos por parte dos(as) educadores(as), tais concepções se configuram como grandes obstáculos para o ensino de ciências, evidenciando que a opção epistemológica adotada pelo(a) educador(a) é um fator que se relaciona diretamente com as estratégias pedagógicas adotadas. Segundo os autores, esse tipo de constatação desencadeou uma importante linha de pesquisa na área.

A partir dessas análises, os autores defendem a busca por ideias consensuais para definição dos aspectos da NdC, apesar do reconhecimento quanto às dificuldades em fazê-la:

> Tudo isso recoloca a necessidade de se estabelecer o que se deve entender por uma visão aceitável do trabalho científico. Estamos conscientes da dificuldade de falar em uma “imagem correta” da construção do conhecimento científico, que parece sugerir a existência de um método científico universal, de um modelo único de mudança científica. (...) É preciso, então, evitar qualquer interpretação desse tipo, situação que não se consegue renunciando a falar das características da atividade científica, mas sim com um esforço, consciente, para evitar simplificações e deturpações (GIL-PÉREZ *et al*., 2001, p. 126).

Como estratégia investigativa, também sugeriram o debate sobre ideias consensuais a respeito daquilo que se deve evitar no processo educativo em relação aos aspectos NdC. Assim, apresentaram em sua pesquisa 7 (sete) visões sobre aspectos da NdC a serem evitados, visto que contribuem para a composição de uma

imagem “ingênua” sobre tal questão, que segundo os autores, se afasta das reais formas do conhecimento científico, porém, se perpetua por meio de estereótipos que por vezes são reforçados até mesmo pelo ensino formal. Essas visões são:

- *Concepção empírico-indutivista e ateórica da atividade científica*, que ressalta a ideia de neutralidade e não relação dessa atividade com fatores sociais, culturais, políticos, econômicos, etc. Também reside aí a não valorização das hipóteses e teorias cientificas em detrimento da investigação experimental e observação meramente descritiva dos fenômenos, ambas sem o embasamento teórico devido. Autores apresentam tal visão como uma das mais populares entre os(as) professores(as) de ciências.

- *Visão algorítmica, exata e infalível da atividade científica*, que reforça a ideia sobre o “método científico” ser único, certeiro e inquestionável, como via da prática científica. Estão associadas a essa visão as ideias sobre a Ciência ter validade apenas por meio de análises quantitativas, de controle rigoroso dos métodos e análises de resultado, e que não envolvem o trabalho criativo do pesquisador. Além disso, não há nessa visão, espaço para a dúvida, a incerteza das tentativas e a possiblidade de falhas que acarretem novo trabalho de análise. Também apontada como muito popular entre educadores(as).

- *Visão aproblemática e ahistórica, conferindo caráter dogmático* à prática científica. Apresentação e debate de ideias, princípios e conceitos de forma apartada do contexto e das razões que levaram às investigações sobre os mesmos. Nesse tipo de visão o desenvolvimento do processo de pesquisa não é considerado, sendo valorizados apenas os resultados positivos em vista das consequências futuras. De acordo com os autores, esse tipo de visão se mostra muito comum em livros didáticos.

- *Visão exclusivamente analítica*, que reforça a fragmentação de conteúdos e a simplificação do empreendimento científico. Valorização de questões pontuais, sem abordagem dos diferentes saberes (e também áreas do conhecimento) envolvidos em uma questão de pesquisa. Autores apontaram tal visão ser pouco frequente nos dados analisados, o que relacionaram com a divulgação e boa aceitação do público docente em relação a propostas didático-pedagógicas interdisciplinares, observada já ao final da década de 1990.

- *Visão acumulativa de crescimento linear* do conhecimento científico, que ignora movimentos amplamente estudas na filosofia e epistemologia da Ciência.

- *Visão individualista e elitista da Ciência*, como sendo essa uma atividade realizada por um grupo social totalmente diferenciado a apartado da sociedade. O conhecimento científico é abordado como produto de ações pontuais e "geniais" de figuras ímpares, que não contam com qualquer apoio ou grupo de trabalho. Há também questões étnicas e de gênero relacionadas a essa visão, que fundamenta a ideia "do cientista" como uma figura masculina, branca, com idade acima dos "quarenta a poucos anos", geralmente desconexo das questões sociais e imerso exclusivamente em sua pesquisa.

- *Visão neutra da Ciência*, desvinculando questões CTSA, tão discutidas no meio acadêmico a partir dos anos 2000. Segundo os autores, esse tipo de visão apresenta julgamento moral dos cientistas como pessoas "acima do bem e do mal", alheios questões sóciocientíficas relevantes para as comunidades.

Mesmo havendo diferenças entre apontamentos, existe o consenso em parte da comunidade científica que os aspectos fundamentais da NdC são constituídos por métodos e práticas de investigação e análise lógica sobre os dados obtidos; pela formação de um grupo social que se constitui na própria comunidade científica, que compartilha, linguagem, visões e práticas como as citadas; pela consciência quanto aos efeitos do contexto de produção sobre o conhecimento científico gerado; pela função motivadora e de transformação social que a Ciência assume junto à sociedade; e os paradigmas que norteiam as pesquisas (AZEVEDO & SCARPA, 2017). Porém, em contrapartida existe parte dos(as) pesquisadores(as) que questionam a proposta sobre ideias consensuais, em vista da diversidade de ideias que são apresentadas pela literatura da área evidenciando a ausência de uma uniformidade de conceitos e abordagens (BEJARANO, ADURIZ-BRAVO & BONFIM, 2019).

Nesse contexto, são apontadas as limitações e desafios decorrentes da tentativa de moldar o ensino da NdC com base em listas consensuais de definições dos principais aspectos. A crítica se estende à tendência de alguns educadores em adotar uma abordagem dogmática em relação aos pontos dessas listas, o que poderia empobrecer as discussões a partir da NdC e restringir a compreensão da Ciência em sua complexidade (MATTHEWS, 2012).

Allchin (2013 e 2017) apresenta algumas críticas em relação ao uso de listas consensuais na abordagem da NdC, como a utilização de forma descontextualizada e pragmática, tal qual apontado anteriormente. Também chama a atenção para a presença de afirmações contraditórias em algumas dessas listas, o que confundiria tanto estudantes como professores(as). Além disso, o autor aponta para a necessidade de adotar abordagens mais flexíveis e abrangentes que considerem a complexidade e diversidade da atividade científica, enfatizando a importância de compreender a Ciência em suas múltiplas dimensões e nuances. Nesse sentido, apresentou o conceito de *whole science* para se referir a uma *Ciência completa* ou *integral*, pela qual as pessoas devem compreender a atividade científica a partir de seus processos experimentais e conceituais, associados diretamente a processos culturais e sociais relativos ao contexto de produção, ao invés de fazê-lo por meio de conceitos inflexíveis presentes nas listas consensuais. Almeida e Mendonça (2016) traduziram o conceito da seguinte forma:

> *Whole Science*, assim como comida integral, não exclui ingredientes essenciais. Ela dá suporte a um entendimento saudável. Metaforicamente, os professores precisam desencorajar uma dieta altamente processada, refinada pela "ciência da escola". Listas de características de NOS limitadas e truncadas são simplesmente prejudiciais para a compreensão da ciência." (ALLCHIN, 2013; p. 25 *apud* ALMEIDA & MENDONÇA, 2016 – tradução livre das autoras).

Sobre o referido conceito, Allchin (2013) defende a proposta de apresentação da atividade científica a partir de etapas que evidenciem a HC a as 3 (três) dimensões envolvidas no processo de produção desse conhecimento: (I) observacional (relativa a medições, experimentos, observações, etc), (II) conceitual (relativa ao raciocínio, às questões históricas, etc) e (III) sociocultural (relativa a financiamento, instituições, comunicação e etc). Apresenta a proposta de superar a noção de listas consensuais em favor de uma visão mais dinâmica e contextual da NdC, com destaque para a necessidade de integrar a HFC no ensino para uma compreensão mais profunda do trabalho científico. Por conta disso, a abordagem *whole science* defende a ideia de que a formação inicial de professores necessita incorporar uma visão mais holística e autêntica da ciência, evitando abordagens genéricas e descontextualizadas (BEJARANO, ADURIZ-BRAVO & BONFIM, 2019).

Outros autores também apontam questões quanto à utilização de listas consensuais para o trabalho com ensino de ciências a partir da NdC. Clough (2006),

por exemplo, aponta possibilidades quanto a equívocos de interpretação acarretarem relativismos, visto que as listas consensuais são construídas a partir de afirmações. O autor dá o exemplo de estudantes entenderem que o conhecimento científico não é confiável, uma vez que apresenta caráter transitório. Outro ponto salientado pelo autor é a interpretação mecânica e literal dessas listas, de modo que as mesmas passem a compor o enorme conjunto de informações a serem memorizadas pelos(as) estudantes, ao invés de fundamentarem questões, debates e argumentação crítica, privando-os(as) de estímulos à autonomia na formulação de suas interpretações.

Quando tomados a partir desse tipo de estruturação, os aspectos da NdC podem não esclarecer profundamente sobre os processos da construção do conhecimento científico, como também, abordar de forma geral questões que sejam específicas de diferentes ciências (CLOUGH, 2006; MATTHEWS, 2012; ALLCHIN, 2013).

Assim como a abordagem da NdC conforme a proposta de *whole science*, que se dá de maneira contextualizada, envolvendo atividades e questões que apresentem relações diretas com NdC ao invés da abordagem dos conceitos e princípios, existem outras possibilidades para se trabalhar de forma alternativa às listas consensuais de definições. Propostas envolvendo estudos de caso e situações problema que abordem aspectos NdC ausentes na maioria das listas, ao invés de lidar diretamente com a conceituação dos aspectos, ou também, a identificação de características da Ciência a partir de declarações, descrições, avaliações por pares (CLOUGH, 2006; MATTHEWS, 2012; ALLCHIN, 2013).

Independentemente do debate em relação à utilização ou não de listas consensuais, ou de estratégias alternativas a elas, atualmente há entendimento comum na comunidade científica da área de ensino de ciências sobre a importância da inserção dos aspectos da NdC nas propostas curriculares, não apenas do ensino básico, mas também na formação docente inicial. Os meios e formas para que isso aconteça vêm sendo debatidos pelos(as) pesquisadores(as) da área. Hodson (1994), por exemplo, aponta a importância da relação daqueles aspectos com diversos objetivos e abordagens educacionais, de forma que se consiga potencializar a postura crítica dos(as) estudantes diante de conteúdos científicos, como o reconhecimento da importância desses no contexto cotidiano. Destaca-se nesse cenário a importância da imagem criada sobre a Ciência, principalmente por parte dos(as) professores(as).

Tendo-se em vista os resultados apresentados por Lederman (1992), descritos anteriormente nesta tese, Harres (1999) apresentou suas considerações em trabalho de revisão sobre a temática. Ao avaliar a produção brasileira a partir dos critérios e categorias utilizados pelo pesquisador estadunidense, além de corroborar grande parte do que fora apresentado, Harres argumentou que a maioria dos(as) professores(as) apresenta concepção empirista sobre a Ciência, isto é, a ideia de que essa é construída a partir de experimentos e descobertas, e concepção racionalista sobre o ensino, priorizando explicações conceituais em detrimento dos processos de descobrimento das questões. Entre suas conclusões, apontou o fracasso da formação docente inicial mediante à não ocorrência de reflexões críticas sobre NdC e suas implicações didáticas. Segundo o autor, esse obstáculo poderia ser superado a partir de alterações curriculares nos cursos de formação, integrando disciplinas que incentivem a reflexão epistemológica sobre os conteúdos trabalhados.

As diferenças entre as concepções sobre NdC apresentadas por estudantes e aquilo que se tem como reais características da atividade científica têm relação com o processo educativo, que frequentemente reforça visões distorcidas do trabalho e dos profissionais envolvidos no contexto científico (HODSON, 1998). Ao tentarem atribuir sentido aos conceitos científicos, estudantes recorrem às suas concepções prévias (MATTHEWS, 1995), que por vezes não correspondem à visão de Ciência apresentada pelos(as) professores, pelos materiais didáticos, ou ainda, pelo currículo. Tais incongruências impõem dificuldades ao trabalho didático, pois aquelas concepções prévias influenciam diretamente na aprendizagem dos(as) estudantes. Em relação a essa e outras situações envolvendo o ensino e a aprendizagem científicos, Hodson (2014) aponta 4 (quatro) dimensões a serem contempladas de forma igualitária nesses processos. Tais dimensões envolvem os conceitos e conteúdos teóricos *(“aprender Ciência”)*, a resolução de problemas de natureza científica *(“aprender a fazer Ciência”)*, os aspectos da NdC e as relações CTSA *(“aprender sobre Ciência”)* e a tomada de decisão sobre questões científicas de maneira crítica *(“aprender a lidar com temas sociocientíficos”).*

Em relação à superação de tais desafios envolvendo o ensino de ciências associado à abordagem dos aspectos da NdC, a utilização de estratégias didáticas baseadas em HC e episódios históricos já se consolidou como uma prática reconhecidamente eficiente na promoção de alfabetização científica e

desenvolvimento de visão crítica sobre a Ciência (MARTINS, 2006; PEDUZZI, MARTINS & FERREIRA, 2012). Em seu trabalho de revisão sobre NdC no ensino de Biologia, Silva e de Mello Mattos (2022) identificaram a HC como base para o aprimoramento das concepções distorcidas sobre NdC apresentadas por estudantes. Uma das razões é a evidenciação quanto a incertezas, motivações, colaborações e influências que perpassam o processo de produção do conhecimento científico, através da contextualização histórica, cultural e social do mesmo. Aqueles autores também citaram resultados de outros trabalhos de revisão (COSTA *et al*., 2017; RIBEIRO, VELOSO & MOREIRA, 2018 *apud* SILVA & de MELLO MATTOS, 2022) que confirmam a recorrência de trabalhos envolvendo NdC e HC no ensino de ciências, em trabalhos apresentados em importantes eventos[13] nacionais de divulgação científica, visando o desenvolvimento das concepções do(as) estudantes.

Matthews (1995) analisou alguns dos modos com que o trabalho educacional envolvendo HC contribui para o aprimoramento das concepções sobre NdC, tanto de estudantes, como na formação inicial docente. Segundo o autor, esse tipo de abordagem promove melhor compreensão dos conceitos e metodologias científicos, pois relaciona a construção do pensamento científico com a construção do pensamento individual. Além disso, abordagens históricas minimizam interpretações cientificistas frequentemente encontradas em materiais didáticos e humanizam a atividade científica ao caracterizar as figuras e processos humanos envolvidos nessa construção. Portanto, a HC permite ricas possibilidades de discussões sobre NdC, visto que detalham aspectos internos e externos da atividade científica e do contexto em que ela ocorre. Por fim, o autor chama a atenção sobre a necessidade de uma abordagem histórica modesta, que não suscite debates conceitualmente profundos e extremamente detalhados quanto a especificidades dos episódios, ou personagens históricas, a fim de não se afastar das possibilidades tangíveis e interessantes aos(às) estudantes.

Em contraponto à recorrente referência aos aspectos positivos da HC no contexto aqui analisado, alguns cuidados e dificuldades são também apontados na literatura da área. Höttecke (2011) indicou a lacuna de conhecimento e saberes teóricos apresentada por professores(as), tanto do ponto de vista epistemológico

[13] Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – ENPEC; Encontro Nacional de Ensino de Química – ENEQ; e Encontro Nacional de Ensino de Biologia – ENEBIO.

como histórico em relação à HC como grande dificuldade. Também classificou assim as influências das crenças pessoais na adoção das estratégias didáticas. O autor argumenta que essas dificuldades refletem problemas importantes na formação inicial docente, em vista da ausência ou abordagem inadequada da HC na formação profissional.

De acordo com Gagliardi (1986), a seleção de conceitos estruturantes implica na definição clara dos objetivos didático-pedagógicos. A partir desses, são selecionados os conhecimentos necessários para que o(a) aprendiz construa os conceitos envolvidos a partir de seu próprio repertório e, portanto, deve-se definir claramente também atividades que favoreçam tal aprendizagem. Sendo assim, a determinação dos conceitos estruturantes não se resume apenas à seleção de conteúdos a serem trabalhados, mas também, do modo como isso deve ocorrer e das razões para que ocorra.

Tomando as Ciências Biológicas como exemplo, o autor explica que, diante da complexidade da constituição e dos processos biológicos que envolvem os seres vivos, da grande diversidade biológica que dificulta o estabelecimento de padrões bem definidos, da necessidade de muitos conhecimentos prévios relativos a outras áreas do conhecimento, como a Química e a Física, e do grande volume de conteúdos conceituais, a HC se apresenta como importante campo do conhecimento a favorecer a seleção de conceitos estruturantes da área. Ao se estudar o contexto de episódios históricos, é possível a identificação de *"mudanças de pensamento"* que levam à construção do conhecimento atual em uma determinada área. A partir daí, é possível definir o conjunto de saberes que favorecerá a aprendizagem efetiva ao invés da memorização de nomes, processos e modelos explicativos. Como exemplo, o autor cita a importância do desenvolvimento da Biologia em nível microscópico, ocorrido ao final do século XVIII, e os avanços científicos decorrentes disso, que vieram a constituir a área tal qual a conhecemos atualmente.

3.3 História da Ciência (HC) como estratégia de ensino.

Até o início do século XX, a HC era abordada apenas por meio de trabalhos biográficos que retratavam aspectos da vida pessoal e profissional de pesquisadores considerados expoentes em suas áreas de atuação. Tal reconhecimento era associado à grandiosidade de trabalhos específicos, atribuindo certo caráter “heroico” a seus autores, frequentemente retratados como figuras geniais e solitárias em suas atividades científicas. Essas biografias eram apresentadas em meio a relatos de episódios isolados, envolvendo grandes descobertas e que desconsideravam os percalços, erros e embates enfrentados durante o processo de pesquisa (SMOCOVITIS, 2000).

Em geral, tais biografias eram escritas por acadêmicos sem formação específica na área de HC (MARTINS, 2000), ou por cientistas experientes em fase final de suas carreiras, que apresentavam suas trajetórias profissionais a estudantes e jovens pesquisadores, como forma de incentivo ao trabalho científico (ALFONSO-GOLDFARB, 1994). Por meio desses trabalhos a Ciência era descrita como um processo progressivo, acumulativo e linear, composto apenas de ações assertivas e corretas no cumprimento dos objetivos traçados. Como consequência, tinha-se a análise do conhecimento passado a partir de referenciais posteriores (da época), que ignoravam o contexto social no qual as pesquisas se desenvolveram, atribuindo neutralidade à Ciência (LEITE, 2004).

Ainda segundo Leite (2004), mudanças no campo científico ocorridas a partir da década de 1930 acarretaram um contexto de debate sobre a abordagem histórica na Ciência. No campo da epistemologia, as noções de linearidade e progresso científico contínuo foram questionadas por autores que posteriormente tornaram-se referências devido a isso, como Gaston Bachelard (1884 – 1962), Ludwik Fleck (1896 – 1961) e Thomas Kuhn (1922 – 1996), e assim, o contexto social, político, econômico, como também os grupos sociais envolvidos no processo de pesquisa científica, foram cada vez mais tomados como aspectos fundamentais nas análises e abordagens históricas.

A partir das décadas de 1970 e 1980 as críticas aos estudos históricos anacrônicos, ou seja, que analisavam fatos passados a partir de conhecimentos posteriores (do presente à época da análise), assumindo o progresso científico como decorrente do acúmulo de conhecimento ao longo do tempo, ganharam força no

debate científico, acarretando, inclusive, a popularização do termo *whig history* para definição desse tipo de abordagem histórica. Esse termo foi cunhado ainda nos anos 1930 pelo historiador inglês Herbert Butterfield (1900 – 1979), que se inspirou em relatos históricos daquela época cujos objetivos eram de enaltecer fatos passados a partir de suas consequências positivas no presente. Ou seja, uma abordagem do passado tendo o presente como referencial, algo que se opõe a um relato propriamente histórico (PRESTES, 2010). De acordo com Martins (2000), essa abordagem atribui neutralidade à atividade científica, tomando-a como uma busca por verdades que ocorre de maneira desinteressada e livre de erros, a partir de observação e experimentação, refletindo assim uma visão "ingênua" sobre a mesma.

Conforme foi apurado por Prestes e Caldeira (2009), revisões bibliográficas anteriores apontam que até os anos 1960 houve um movimento de pesquisas da área em favor da inclusão da HC em propostas curriculares. A partir dos anos 1970 a tendência passou a ser pesquisas interessadas sobre a utilização da HC nas estratégias de ensino. Sobre isso, as autoras apresentam afirmações retiradas do trabalho de Matthews (1994), atestando pontos importantes da utilização de HC no ensino de ciências:

> A História promove melhor compreensão dos conceitos científicos e métodos.
> Abordagens históricas conectam o desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento das ideias científicas.
> A História da Ciência é intrinsecamente valiosa. Episódios importantes da História da Ciência e Cultura – a revolução científica, o darwinismo, a descoberta da penicilina etc. – deveriam ser familiares a todo estudante.
> A História é necessária para entender a natureza da ciência.
> A História neutraliza o cientificismo e dogmatismo que são encontrados frequentemente nos manuais de ensino de ciências e nas aulas.
> A História, pelo exame da vida e da época de pesquisadores individuais, humaniza a matéria científica, tornando-a menos abstrata e mais interessante aos alunos.
> A História favorece conexões a serem feitas dentro de tópicos e disciplinas científicas, assim como com outras disciplinas acadêmicas; a história expõe a natureza integrativa e interdependente das aquisições humanas (MATTHEWS, 1994, p. 50 *apud* PRESETES & CALDEIRA, 2009, p. 04)

Bastos (1998) identificou diferentes utilizações da HC em pesquisas voltadas ao ensino de Ciências:

- Análises da utilização da HC no ensino formal. Ocorrência de erros em relação aos fatos históricos em si, desconsideração do contexto não científico na produção desse conhecimento, a concepção de Ciência a partir de descobertas fantásticas feitas por cientistas geniais, não consideração dos debates e proposições científicas passadas, consideradas equivocadas no momento presente.

- Adequação dos relatos históricos ao trabalho didático-pedagógico, com vistas ao atendimento de demandas específicas no ensino de Ciências.

- Episódios históricos da Ciência como fundamentação para seleção de conteúdos, recursos e estratégias de ensino, como também para a proposição de atividades didáticas, com vistas à formação científica crítica.

- Fundamentação para elaboração e avaliação de propostas e materiais didáticos.

Ainda sobre pontos relevantes, Martins (1998) aponta que a utilização da HC torna o ensino de ciências mais interessante, visto a contextualização e problematização dos conteúdos. Dessa forma, auxilia na construção de uma imagem da Ciência como prática sustentada por meio de metodologias específicas, que apresentam limitações, desmistificando a ideia de verdade absoluta. Dessa forma, contribui na formação de um espírito crítico por parte dos(as) estudantes.

A autora também apresenta alguns pontos críticos quanto ao uso da HC. Primeiramente, alerta sobre o equívoco em se utilizar biografias longas, biografias detalhadas sem que se faça a contextualização dessas informações. Dessa forma, tal material pode apresentar-se desinteressante ao público e ineficaz. Também chama a atenção para que não sejam retratados apenas os pontos positivos dos episódios históricos, pois ao deixar de fora os conflitos e erros, descaracteriza-se o processo científico quanto a alguns aspectos da sua natureza (NdC), passando a compor histórias fantasiosas e incondizentes com a realidade dos fatos.

Outros autores também indicam pontos críticos quanto. Matthews (1995) também alerta sobre o cuidado em se evitar a visão caricata do desenvolvimento histórico do conhecimento científico, a partir de histórias e personagens idealizados,

no sentido de distanciados da realidade devido às distorções já mencionadas. Sobre esse aspecto, o autor enfatiza a importância da ação docente e das pesquisas cuidadosas quanto à utilização da HC no ensino. Para ele, a maneira como a Ciência é compreendida pelos(as) professores(as) se reflete diretamente sobre a forma como os(as) estudantes o farão, residindo nisso a importância do olhar crítico sobre o trabalho pedagógico envolvendo os aspectos da natureza da Ciência.

Quanto à formação docente para o trabalho com HC, Martins (1993) alertou sobre o problema de profissionais sem formação específica em HC elaborarem materiais didáticos apresentando recortes e textos com referências históricas, pois é comum que esses reproduzam muitos dos problemas já apontados aqui, como simplificações e distorções. Essa questão mostra-se ainda mais preocupante, visto a recorrência com que professores(as) recorrem a livros didáticos, muitas vezes como suas principais fontes de pesquisa sobre aspectos históricos do conteúdo. Sobre a falta de material para pesquisa, Bastos (2005) aponta que grande parte do material, mais acessível ao grande público, se mostra inadequado às necessidades específicas do ensino fundamentado na HC. Parte desses textos não apresenta linguagem ou estrutura adaptada ao público escolar, visto o direcionamento principal à comunidade acadêmica. Coloca-se aqui também a respeito de muitas fontes primárias e secundárias estarem apenas disponíveis em materiais escritos em línguas estrangeiras, como inglês, francês, espanhol e alemão. Apesar de atualmente o acesso a ferramentas digitais de tradução ser mais facilitado, ainda assim, esse tipo de material restringe as possibilidades de utilização por grande parte do público em geral.

Ainda sobre a formação profissional docente, frequentes relatos sobre carência de abordagem HC na formação docente acarretam lacunas conceituais sobre os contextos históricos, mas também contribuem para a formação de uma visão distorcida sobre a Ciência e a formação do conhecimento científico. Segundo os autores, a abordagem HC contribui para que professores(as) desenvolvam olhar crítico sobre a Ciência, compreendendo melhor sobre os desafios enfrentados e influências sofridas por cientistas durante o trabalho de desenvolvimento de suas propostas. Auxilia também na contextualização sobre a evolução e amadurecimento da própria pesquisa, justamente ao passo que os desafios se apresentam e soluções são propostas, inclusive aquelas que não implicaram no esclarecimento final das

questões discutidas. Ou seja, a abordagem HC favorece a compreensão sobre os diferentes caminhos trilhados ao longo do trabalho científico e não apenas do resultado final positivo.

Nesse sentido, há também a contribuição para um melhor entendimento sobre as relações de poder envolvidas em um trabalho científico, desde a pertinência do tema investigado em relação à forma como o mesmo é entendido pela sociedade, ou pela própria comunidade científica, até as questões de financiamento das pesquisas. O esclarecimento sobre esses aspectos descaracteriza a visão ingênua sobre neutralidade científica, ao passo que favorece a adoção de postura crítica diante dos fatos históricos e da realidade científica presente. No caso desse movimento ocorrer por parte dos(as) professores(as), pode favorecer a adoção de métodos e estratégias de ensino que estimulem os(as) estudantes a também compreenderem a atividade científica de maneira mais crítica, o que se reflete na aprendizagem significativa dos conceitos científicos, já que os mesmos são apresentados a partir do processo de construção e não como revelações a serem memorizadas e transmitidas.

Borges (1991) pesquisou sobre a forma como a HC é abordada em cursos de formação docente, principalmente de formação inicial, em instituições do Rio Grande do Sul. Identificou pouca ocorrência dessa abordagem, acontecendo de maneira ocasional em algumas disciplinas, principalmente aquelas relacionadas à metodologia científica e ensino. O principal aspecto explorado nesses dados foi a apresentação das etapas do “método científico”, enfatizando a ideia de padronização na prática científica e reforçando concepções tradicionais associadas ao indutivismo e empirismo, refletindo assim certa superficialidade nas análises do tema.

Em função desse tipo de lacuna formativa, Leite (2004) apresentou diferentes referências apontando a busca pelos livros didáticos como recurso para auxílio nessa questão, por parte de professores(as), algo compreendido como preocupante por aqueles(as) pesquisadores(as), em vista da maneira como tais matérias abordam a HC e apresentam os episódios históricos. Tais registros apontam para a ênfase que os livros didáticos dão à conceituação dos conteúdos científicos, em detrimento da abordagem histórica do processo de construção e constituição desses conteúdos, apresentando poucas ou quaisquer menções a isso (PEDRUZZI, 2001). Também identificam que parte das referências históricas apresentadas em livros didáticos ainda são feitas por meio de biografias e resumos sobre determinados cientistas (em geral,

homens), apresentados como personagens principais ou únicas, em enredos lineares, progressivos, e compostos por ações certeiras e grandes descobertas (GAGLIARDI & GIORDAN, 1986; DELIZOICOV, 2002).

Ainda sobre os problemas associados à abordagem da HC em livros didáticos, Martins (1998) apontou exemplos de relatos errôneos sobre episódios da História das Ciências Biológicas, incluindo a proposição da TCH. Segundo a autora, esse tipo de equívoco pode acarretar distorções na forma como a Ciência é entendida e ensinada, em vista do que os episódios históricos apresentam, de fato. Como exemplos dessas distorções, ela aponta: (I) a concepção de que o conhecimento científico atual foi provado de maneira definitiva por trabalhos realizados no passado; (II) a fácil identificação dos responsáveis pelas grandes descobertas científicas; (III) o caráter heroico dos pesquisadores que “chegam à verdade” e, em oposição, o caráter “vilão” daqueles que “falharam” ao tentar fazer o mesmo; (IV) a não ocorrência de erros nos trabalhos científicos realizados no passado que acarretaram a formação do conhecimento assumido como verdadeiro no momento presente.

Seguindo com as conclusões de Martins, esse problema se deve a simplificações presentes nos livros didáticos, decorrentes de pesquisa superficial, incompleta e não fundamentada em materiais originais (MARTINS, 1998). Ainda que se concorde com o posicionamento anterior, é importante ressaltar as importantes dificuldades que pesquisadores(as) e, principalmente, professores(as) da educação básica podem enfrentar ao tentarem acessar tais fontes primárias. Questões relativas à disponibilidade e acesso desses materiais pela internet, aos custos para obtenção dos mesmos em formato físico, ou mesmo, problemas relativos às traduções livres, podem representar barreiras que venham a restringir aquela possibilidade.

Ao concluir sobre a referida problemática envolvendo a utilização de livros didáticos por professores(as) para fundamentação da abordagem histórica dos conteúdos científicos, Leite (2004) destaca recorrências na literatura científica da área à aquela época, como as concepções sobre Ciência formada prioritariamente a partir dos conceitos científicos pouco associados à construção histórica dos mesmos; a fragmentação dos conteúdos científicos; a frequente adoção de estratégias didáticas tradicionais, classificatórias, mecânicas e que favorecem mais a memorização do que a criação de relações conceituais; a descontextualização política, social, histórica, econômica e filosófica dos conteúdos; e a constante utilização de biografias retratando

cientistas geniais e suas descobertas importantes feitas de maneira solitária e inequívoca.

Em vista das potencialidades didático-pedagógicas quanto à utilização de episódios históricos no processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos científicos, como também, das dificuldades associadas a esse trabalho, sendo uma das principais a própria formação profissional docente e o acesso de professores(as) a materiais que possibilitem a abordagem crítica da HC, ao invés de perpetuar concepções ingênuas e equivocadas sobre Ciência, tem-se na presente pesquisa um importante recurso para a fundamentação do trabalho educacional e para superação dos obstáculos anteriormente citados, devido à apresentação de relatos e análises quanto ao contexto em que se deu um importante episódio da História das Ciências Biológicas, e as sugestões de atividades didáticas apresentadas a seguir.

3.4. Temas e Questões sobre episódios da HC como fundamentação para ensino da NdC: uma abordagem contextual.

Como já apontado anteriormente nesta tese, diversas pesquisas sobre ensino da NdC apresentam discussões a respeito da forma como os currículos devem abordar conteúdos e temáticas científicas. Há aquelas que buscam definir características essenciais do conhecimento e da prática científica, apontando para a o debate e o ensino dessas como fundamentação das estratégias didáticas (PUMFREY, 1991; LEDERMAN, 1992; MCCOMAS *et al*., 1998 a, b; GIL-PÉREZ *et al*., 2001, LEDERMAN *et al*., 2002; OSBORNE *et al.,* 2003, ABD-EL-KHALICK, 2012a, 2012b). Por outro lado, existem pesquisas que questionam tal possibilidade de definição, propondo que o processo de alfabetização científica (SASSERON & CARVALHO, 2011) apresente a Ciência como empreendimento multifacetado, que influencia e é influenciado pela sociedade em diversas esferas (social, política, econômica, cultural, histórica, entre outras), de maneira a possibilitar que os(as) estudantes reconheçam e lidem com situações dessa natureza presentes em seu cotidiano, a partir de um olhar científico (ALTERS, 1997; CLOUGH, 2007; ALLCHIN, 2013; IRZIK & NOLA, 2001; MATTHEWS, 2012).

Em meio a essas pesquisas, também são analisadas diversas proposições sobre metodologias e estratégias didáticas que possibilitem a aprendizagem científica de acordo com aquelas abordagens. Nesse sentido, Martins (2015a) apresentou

importantes referências e discussões quanto à adequação entre os objetivos didáticos e as práticas pedagógicas adotadas, em vista da concepção sobre NdC que as fundamentam. Segundo esse autor, a busca pelo entendimento sobre *"o que"* se ensinar sobre Ciência deve considerar aspectos epistemológicos refletidos também sobre a forma *("como")* e as razões *("porquê")* de se fazê-lo. Em consonância com isso, Sasseron e Duschl (2016) discutiram sobre a importância de se abordar o contexto em que o conhecimento científico é desenvolvido, em vista dos debates e decisões que levam a comunidade científica a validar determinados conhecimentos.

Devido às concepções ingênuas sobre Ciência levantadas pela literatura científica e atualmente associadas a uma abordagem de senso comum, Martins (2015a) apontou que as propostas de ensino sobre NdC baseadas em aspectos consensuais a respeito da mesma cumprem uma função ao estabelecer limites entre o senso comum e concepções mais reflexivas sobre a atividade científica. Dessa forma, o autor apresenta o conceito de *"visão consensual"* sobre NdC (VC):

> [...] um conjunto de aspectos, de caráter geral, a respeito dos quais haveria um consenso amplo no que diz respeito ao que se espera que esteja presente no currículo escolar de ciências. Como um referente para a instrução, a VC busca um consenso pragmático em torno de determinados aspectos que seria válido para se pensar a inserção da temática NdC nas escolas, portanto (MARTINS, 2015a, p. 706).

Martins (2015a) apresentou críticas à VC sobre NdC, por entender que tal concepção não considera de maneira mais profunda aquilo que definiu como "processos da Ciência", referindo-se, principalmente, aos métodos relacionados ao fazer científico (investigação, produção, validação e divulgação do conhecimento científico). Segundo esse autor, a VC sobre NdC se pauta por enunciados gerais que pouco consideram especificidades da prática científica, fundamentados em alguns poucos documentos educacionais, e que não abordam aspectos importantes da prática científica, como a utilização de modelos, por exemplo.

Em acordo com a críticas feitas por Martins (2015a), Mendonça (2020) ressaltou que o caráter geral dos princípios essencialistas presentes nas listas consensuais sobre NdC, não abordam a heterogeneidade da Ciência, em vista das subjetividades e especificidades das diversas áreas disciplinares que compõem o campo científico. Segundo a autora, existem peculiaridades quanto à metodologia de obtenção, análise e referenciação de dados, quanto ao tipo de pergunta de pesquisa, e mesmo no modo de divulgação dos resultados científicos, que são específicas e

intrínsecas às diversas áreas do conhecimento. Ela ainda ressaltou que mesmo dentro de uma mesma área podem haver tais especificidades, algo que se revela verdadeiro para as Ciências Biológicas, em vista do contraste entre a *Biologia Funcional* (de caráter mais experimental) e a *Biologia Evolutiva* (de caráter mais descritivo, "herdado" da História Natural) (MAYR, 2005; MENDONÇA, 2020).

Assim como Martins (2015a), Mendonça (2020) chamou a atenção para a importância da abordagem contextualizada, proposta na literatura científica (ALLCHIN, 2013; HODSON, 2014), para a abordagem no ensino da NdC. De acordo com essa autora, há contextos que favorecem mais a abordagem sobre questões sociais, enquanto outros favorecem abordagens cognitivas e epistemológicas.

Em vista disso, pesquisadores críticos à VC apontam como possiblidades para abordagem mais complexa da NdC, atividades investigativas ou práticas da Ciência e estudos de caso (RYDER, 2001; SANDOVAL & MORRISON, 2003; SANDOVAL, 2005; CLOGUH, 2007, ALLCHIN, 2013; ALLCHIN, ANDERSEN & NIELSEN, 2014).

A abordagem de casos históricos possibilita que os(as) estudantes a compreendam a evolução do conhecimento científico, acarretando a compreensão da Ciência como um processo dinâmico, a partir de exemplos reais, e não como apenas um conjunto de conhecimentos estáticos e postos. Nesses casos, o fato de o conhecimento científico já se encontrar consolidado, possibilita o entendimento sobre a importância do debate pela comunidade científica, sobre a influência das motivações que levaram às pesquisas e dos caminhos (teóricos e práticos) percorridos até a proposição dos conceitos, princípios, leis e teorias científicas. No estudo de casos históricos, os(as) estudantes devem ser orientados(as) de modo a envolverem-se com aquele contexto, compreendendo sobre as possiblidades e limitações condizentes à época em que os fatos estudados ocorreram. Nesse sentido, Justi e Mendonça (2016[14], *apud* MENDONÇA 2020) sugerem estratégias didáticas fundamentadas em reconstruções históricas por meio de dramatizações e atividades práticas, ou ainda, simulações para fomentar o debate dos episódios históricos abordados (ALLCHIN, ANDERSEN & NIELSEN, 2014).

Já a análise de casos contemporâneos, pode melhorar as capacidades de pensamento crítico dos alunos e ajudá-los a compreender a aplicação da Ciência em

[14] JUSTI, R.; MENDONÇA, P. C. C. Discussion of the controversy concerning a historical event among pre-service teachers. *Science & Education*, Dordrecht, v. 25, n. 1, p. 795-822, 2016.

contextos do mundo real. Esta abordagem sensibiliza os(as) estudantes quanto à incerteza e à complexidade da Ciência em construção, bem como para o papel dos cientistas na sociedade. No contexto das atividades investigativas ou práticas, os(as) estudantes podem experimentar alguns processos científicos diretamente, possibilitando o desenvolvimento de habilidades essenciais à investigação científica e a aprendizagem ativa sobre aspectos da NdC (ALLCHIN, ANDERSEN & NIELSEN, 2014).

Em termos de estratégias didáticas, Allchin, Andersen e Nielsen (2014) apontaram sobre as possibilidades de integração das três abordagens, explorando as potencialidades de cada uma, de modo a estimular os(as) estudantes a criarem conexões entre as práticas científicas e suas próprias experiências de investigação. Esses autores também sugeriram que as atividades didáticas devem ser contextualizadas por atividades científicas (passadas, contemporâneas ou práticas) autênticas, remetendo-se a casos científica e historicamente relevantes. Como possibilidades de atividades a comporem as estratégias didáticas contextualizadas, apontaram os seguintes exemplos (ALLCHIN, ANDERSEN & NIELSEN, 2014):

- Reflexões e debates orientados por perguntas formuladas especificamente em função dos aspectos de NdC associados a estudos de casos ou atividades investigativas, de modo a permitirem a exploração dos processos envolvidos na pesquisa científica e projetarem antecipações de possíveis desafios a serem enfrentados;

- Atividades coletivas e cooperativas como dramatizações, representações, simulações, discussões, ou resolução de problemas propostos, relacionados a situações científicas efetivas. Tais atividades visam estimular a aprendizagem ativa dos(as) estudantes e o envolvimento com os diversos elementos que compõem o contexto científico;

- Investigações conduzidas pelos(as) estudantes e orientadas pelos(as) professores(as), de modo que os(as) primeiros(as) experimentem situações características do processo investigativo, como condições de realização (estrutural, financeira, de tempo, etc.), limitações conceituais e teóricas, objetivos, cronogramas, coleta e análise de dados, geração de relatórios e divulgação, desenvolvimento de projetos, entre outras;

- Abordagem contextualizada de situações específicas, de modo a adotar a perspectiva de figuras históricas ou cientistas contemporâneos, e assim aproximar os(as) estudantes das condições reais para a realização dos trabalhos científicos, cada qual à sua época. Nesse sentido, os autores também apontaram sobre atividades comparativas entre situações históricas e contemporâneas sobre questões científicas semelhantes, ou de causalidade e desdobramentos.

CAPÍTULO 4:

Um pequeno passo para uma mosca, um grande salto para a humanidade: episódios da HC que marcaram o início da utilização de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo.

Além das questões didático-pedagógicas, a identificação da natureza física e localização dos "fatores" [15]relacionados à hereditariedade configurou-se como elemento central no desenvolvimento histórico da Genética. Pesquisas realizadas entre os séculos XVIII e XX, envolvendo cruzamentos controlados de diversos grupos de plantas e animais, investigações sobre o desenvolvimento de embriões, proposições sobre o surgimento de variações nos caracteres biológicos e a influência delas no processo evolutivo dos seres vivos, identificação de estruturas e mecanismos relacionados à determinação do sexo biológico, e caracterizações morfológicas e bioquímicas das células, geraram múltiplos conhecimentos sobre a reprodução e evolução dos seres vivos. Isso possibilitou a organização desses conhecimentos em subáreas das Ciências Biológicas, de tal forma que atualmente associamos grande parte deles à área da Genética (STURTEVANT, 1965).

Portanto, tem-se nos conceitos referentes à "materialidade" da hereditariedade um conjunto importante de conteúdos a serem ensinados e aprendidos nas aulas de Genética. Nesse sentido, pesquisas contemporâneas na área de ensino enfocaram o conceito de *gene*, tendo-se em vista concepções sobre determinismo genético, natureza unitária, estrutural e informacional dos genes, e controvérsias decorrentes dos estudos mais recentes na área da Biologia Molecular (JOAQUIM & EL-HANI, 2010; SCHNEIDER, et al., 2011; SILVÉRIO & MAESTRELLI, 2011; EVANGELISTA, 2016). Para o historiador da ciência Garland Allen (2014), a concepção simplista a respeito dos genes, apresentada por grande parte do público em geral, tem relação com o movimento materialista mecanicista ocorrido no campo das Ciências Biológicas durante o século XIX. Segundo o autor, ainda que decorram questionamentos sobre tal simplificação, pedagogicamente ela ofereceu uma maneira simples de se

[15] Apesar de o termo "fatores" ser historicamente associado às proposições de Gregor Mendel sobre hereditariedade, neste contexto foi usada para se referir às entidades físicas presentes nas células e transmitidas entre gerações por reprodução, sem necessariamente se equivaler ao conceito mendeliano.

compreender aquele conceito e também de relacioná-lo com outros de igual importância, como *os cromossomos*.

Segundo Ceschim e Ganiko-Dutra (2020), foi a partir do trabalho de Walter S. Sutton (1877-1916), publicado em 1903, que a relação entre os genes e os cromossomos começou a ser compreendida. Ao relacionar o conceito mendeliano de segregação dos “fatores hereditários” com as alterações ocorridas no núcleo celular durante o processo de meiose, Sutton propôs que os genes (tomados a partir do modelo molecular clássico) fariam parte da estrutura dos cromossomos e assim, estabeleceu a reunião entre conceitos genéticos (experimentos envolvendo cruzamentos e hibridizações), com conceitos citológicos (estrutura e divisão celular)

4.1 A hereditariedade pela Ciência do século XIX.

A propriedade que os seres vivos têm de apresentar características (não somente) físicas muito semelhantes às dos seus progenitores sempre alvo da curiosidade humana. Fosse por conta do cultivo de plantas e animais para atender a diversas demandas, ou fosse com o intuito de legitimar laços afetivos entre indivíduos que se entendem pertencentes a um grupo exclusivo, estabelecido justamente pelo compartilhamento de certas características físicas, a hereditariedade sempre esteve no centro das relações sociais entre as pessoas. O *Homo sapiens* é uma espécie de grandes símios sem cauda, que assim como os demais animais desse tipo, apresenta organização social em suas populações. Portanto, pode-se dizer que a busca pela compreensão sobre a transmissão de características entre diferentes gerações é algo que transcende a simples curiosidade. É algo de natureza identitária.

Por conta dessa importância, a hereditariedade foi tema de diversas reflexões, ideias, narrativas, debates e mais recentemente na História humana, de incontáveis pesquisas científicas. Em diferentes trabalhos, Justina (2001), Caldas (2017), e Neves (2020) apresentaram informações sobre como as várias sociedades conceberam e interpretaram a hereditariedade ao longo do tempo. Assim, assume-se nesta tese como ponto inicial das considerações, o debate sobre hereditariedade na comunidade científica europeia e estadunidense, a partir da segunda metade do século XIX.

Naquele período a prática científica já se assemelhava ao que se realiza atualmente nas universidades e centros de pesquisa. A argumentação lógica, a constituição e análise de dados decorrentes de experimentação, a divulgação e

intercâmbio cultural entre diferentes grupos de pesquisa, as instituições e sistemas de fomento, já se apresentavam naquela comunidade científica. É fundamental salientar que a teoria evolutiva, segundo as propostas de Charles R. Darwin (1809 – 1882), e os estudos pioneiros sobre células, como os realizados por Matthias Schleiden (1804 – 1881), Theodor Schwann (1810 – 1882) e Rudolf Virchow (1821–1902), já eram realidade no campo científico e mobilizavam ativamente o debate (MAYR, 1998 e 2005). Especificamente sobre o tema de pesquisa hereditariedade, havia cientistas que realizavam cruzamentos controlados, na sua maioria com vegetais, mas também havia os que faziam com animais, com vistas, principalmente, ao melhoramento de espécies cultivadas (de ambos os reinos). (NEVES, 2020)

Destaca-se aqui, o trabalho de Carl F. von Gärtner (1772– 850), botânico alemão que aprimorou técnicas de fertilização vegetal direcionada, em vista de seu trabalho promovendo hibridizações[16] em espécies de plantas cultivadas como ervilhas. Gärtner realizou análises estatísticas e anotações detalhadas dos experimentos que promovia, chegando a concluir que descendentes, por vezes, não recebiam caraterísticas "puras" dos progenitores. Em casos assim, chegando a observar novas características a partir de determinada geração descendente. Sabe-se atualmente que se tratavam de alterações na ploidia das células, algo completamente desconhecido naquele período. Esse pesquisador foi pioneiro no registro sobre "dominância" genética, algo que ele denominou como *"potência"* (BRANDÃO & FERREIRA, 2009; NEVES, 2020).

Segundo Neves (2020), Gärtner foi uma das referências utilizadas por Johann Gregor Mendel (1822–1884) como fundamentação das técnicas de hibridização, registro e análise de dados provenientes dos cruzamentos. Ainda de acordo com aquele autor: *"(...) Mendel foi esse alguém. Estudou exaustivamente o trabalho de Gärtner e entendeu suas deficiências"*.

Desde o início do século XIX a comunidade científica já concebia a hereditariedade como algo decorrente da transmissão de um "material hereditário" entre gerações. Essa compreensão, e também sobre a natureza desse material,

[16] O termo "hibridização" é adotado nesta tese para referenciação a cruzamentos controlados e direcionados, cujo objetivo principal era a produção de linhagens "híbridas" a partir de progenitores pertencentes a "variedades" diferentes dentro de uma espécie vegetal ou animal. Atualmente o termo "híbrido" refere-se a organismo descendentes de progenitores de diferentes espécies, porém, entre os séculos XVIII e XIX muitas das linhagens "híbridas", ainda que à época fossem consideradas espécies diferentes, atualmente são compreendidas como variantes em uma mesma espécie (BRANDÃO & FERREIRA, 2009; NEVES, 2020)

advinha do estabelecimento das células como unidades fundamentais constituintes dos seres vivos e da forma como elas participariam do processo hereditário. A partir dessa associação, surgiram teorias a respeito da existência de “partículas intracelulares” responsáveis pela hereditariedade (BOTELHO, 2011)

Mendel, assim como grande parte dos hibridizadores, naturalistas e pesquisadores de sua época, acreditava na ocorrência de “partículas” (ou no caso de Mendel, “fatores”) de transmissão hereditária das características físicas, algo que permitia conceber a hereditariedade a partir do compartilhamento e “organização” desses fatores, e não como sendo uma mistura promovida a partir dos progenitores (BRANDÃO & FERREIRA, 2009; NEVES, 2020).

Já na primeira metade daquele século, Darwin havia sustentado a proposta sobre partículas discretas (descontínuas) que percorreriam o corpo por meio do sangue, se acumulariam nas gônadas e possibilitariam a reprodução. Tais partículas foram denominadas *gêmulas* e constituíram a teoria da pangênese, que posteriormente se mostrou inconsistente com algumas situações hereditárias, como a ocorrência de características contínuas, ou o “desaparecimento” de características específicas em gerações anteriores, seguido de “reaparecimento” nas gerações descendentes (JUSTINA, 2001, CALDAS, 2017).

Um dos maiores estudiosos e defensores da teoria darwinista no final do século XIX, o holandês Hugo De Vries (1848–1935) apresentou nova fundamentação à pangênese. Segundo ele, os núcleos celulares apresentariam “estruturas indivisíveis” (não moleculares), denominadas *“pangenes”* que seriam responsáveis pelo funcionamento das células. Para De Vries, células-filhas eram formadas a partir da divisão das células-mãe, de tal maneira que mantinham a mesma quantidade de pangenes das mães, porém, havia a possibilidade de ocorrência de erros que gerariam o que o autor denominou *“variabilidade flutuante”.* Conforme as células apresentassem alterações nas quantidades de pangenes que definiam determinada características, mais “forte” ou mais “latente” ela se apresentava, algo que buscava satisfazer explicações sobre características contínuas e o “desaparecimento” (do recessivo) em algumas gerações intercaladas. Apesar de suas lacunas, essa teoria, conhecida por *“pangênese intracelular”*, ganhou muita força na comunidade científica daquele momento, justamente por aproximar-se da teoria celular, considerada a

“tônica” naquele contexto científico (JUSTINA, 2001; POLIZELLO & MARTINS, 2012; CALDAS, 2017)

Outro fator muito importante das propostas de De Vries, que, inclusive, mostrou-se fundamental na constituição das moscas drosófilas como organismo modelo, foi seu trabalho “Sobre a Lei da Disjunção dos Híbridos[17]”, no qual utilizou a metodologia aplicada por Mendel em ervilhas, fundamentando-se, inclusive, nos trabalhos originais do mesmo. Como resultado, obteve razões semelhantes. De acordo com Neves (2020):

> (...) seu trabalho *(De Vries)* com várias espécies complementou a descoberta de Mendel e apresentou para o mundo científico a comprovação ampla e decisiva da herança das características herdáveis. Embora tenha sábio da existência de Mendel somente após ter realizado inúmeros cruzamentos, o seu trabalho em destaque na Ciência, pois demonstrou com relevância a existência de um mecanismo pelo qual as características passam de uma geração para outra. (NEVES, 2020, p. 124)

Segundo De Vries, novos tipos de pangenes poderiam ser formados, levando ao surgimento de novas espécies em um pequeno número de gerações, constituindo-se em um processo extremamente rápido e descontínuo. De Vries não postulou sobre a ação de fatores ambientais nesse processo, como também não apresentou nenhum mecanismo que explicasse o surgimento de novos pangenes. Porém, indicou que haveria períodos geracionais de maior probabilidade de ocorrência dessas alterações, e outros em que o processo não ocorreria (STAMHUIS, 2015).

Os trabalhos de De Vries acompanharam todo uma escola de hibridizadores atuantes no final do século XIX, tendo em diversas espécies de plantas seus modelos experimentais. Nesse caso, o pesquisador holandês trabalhou com a espécie *Oenothera lamarckiana* (“primavera da noite”) e cunhou o termo *mutação* para se referir a essas variações, que seriam fruto da interação entre os pangenes nas células. Destaca-se aqui a não correspondência conceitual das mutações propostas por De Vries ao conceito contemporâneo, relativo a alterações moleculares ou cromossômicas no material genético. Assim, a formação de espécies, que de acordo com o modelo darwinista correspondia a um processo contínuo e lento (muitas gerações), passou a ser concebido também por meio do surgimento de características descontínuas e rápido (poucas gerações). Posteriormente, ao longo das primeiras

[17] De Vries Hugo, "Sur la loi de disjonction des Hybrides". Comptes Rendus de 1'Académie des Sciences, 130, 1900, p. 845-847.

décadas do século XX, citogeneticistas compreenderam que os resultados de De Vries se deviam a casos específicos daquele modelo experimental (*O. lamarckiana*), em vista de poliploidias associadas a processos de recombinação genética, como também arranjos cromossômicos complexos e casos de interações entre alelos (STAMHUIS, 2015).

Outro admirador das teorias darwinistas, defensor da *herança particulada*[18], foi Hebert Spencer (1820–1903), que relacionou a hereditariedade à tendência inata de auto-organização das "*unidades fisiológicas*". Essas partículas conteriam as informações hereditárias, seriam capazes de se multiplicar nas células e responderiam a estímulos ambientais por meio de alterações. Dessa forma, Spencer, assim como Darwin, admitia a transmissão hereditária de características aquiridas, justamente por meio das unidades fisiológicas (JUSTINA, 2001).

Em meio aos cientistas já mencionados e a outros que compuseram tal cenário, destaca-se, August Weismann (1834–1914), que também propôs sobre "partículas hereditárias" naquele período. Frequentemente retratado em materiais didáticos voltados ao ensino básico como grande opositor das teorias lamarckistas[19], responsável por experimentos envolvendo o corte de caudas de camundongos para refutação da teoria sobre herança de características adquiridas, Weismann propôs a existência de dois tipos celulares: as células somáticas (*soma*) e as germinativas (*germen*). Esses tipos seriam completamente independentes um do outro, assim, as modificações ocorridas em células somáticas não agiriam sobre as reprodutivas, de tal modo que tais modificações não seriam hereditárias (THÉODORIDES, 1984).

Portanto, os descendentes seriam formados a partir da fusão entre o *plasma germinativo* presente nos gametas dos progenitores. Esse material seria composto por partículas microscópicas e submicroscópicas contidas no núcleo dos gametas, a saber: *bióforos, determinantes, Ids* e *idantes*. Destaca-se aqui os "Ids", que seriam responsáveis pela formação do corpo dos indivíduos e se apresentariam organizados em estruturas maiores, os idantes. Uma vez havendo a fusão do plasma germinativo

[18] Teorias científicas propostas entre os séculos XVIII e XX, sobre os mecanismos de hereditariedade biológica estarem relacionados com "partículas" (não do ponto de vista atômico) que compusessem a estrutura celular e por meio da quantidade, organização interações, etc., fossem responsáveis pelas características hereditárias. Dessa forma, tais partículas seriam "compartilhadas" entre os progenitores para que houvesse a reprodução.

[19] Neste caso, refere-se à teoria sobre transmissão hereditária de características adquiridas. Essa teoria, classicamente atribuída a Jean Baptiste Lamarck (1744–1829) no ensino básico, também era defendida por diversos naturalistas e cientistas contemporâneos a ele, incluindo Charles Darwin (MAYR, 1998 e 2005; MARTINS, 2015).

dos gametas, tais idantes seriam as “unidades transportadoras” dos Ids, algo que atualmente poderia ser relacionado aos cromossomos (POLIZELLO & MARTINS, 2012).

Uma vez ocorrida formação de gametas com parte dos Ids, e esses sendo transportados para encontrarem com outros Ids, de outro gameta, isso acarretaria em células germinativas apresentando combinações novas de Ids a cada geração formada, e gerando redução na quantidade de partículas ancestrais presentes nas células dos descendentes. Essa mudança na “conformação” de Ids a cada nova geração seria uma das formas dessa teoria explicar o surgimento de variações. Tendo-se em vista que por essa teoria o surgimento de variações decorria do processo reprodutivo, então, justifica-se as críticas do pesquisador sobre a influência do ambiente na hereditariedade (POLIZELLO & MARTINS, 2012).

Entre as críticas enfrentadas pela teoria do plasma germinativo, havia destaque para a impossibilidade de se observar diretamente tais partículas nos núcleos das células. Porém, a teoria de Weismann envolveu a participação do núcleo celular, algo que a pesquisas recentes à época traziam como unanimidade, ou seja, foi uma teoria contemporânea ao entendimento sobre a participação do núcleo nos processos reprodutivos e de formação das células. Segundo Justina (2001), essa teoria contribuiu para o entendimento da Ciência quanto ao papel dos cromossomos e dos processos de separação do material genético durante a meiose.

Portanto, os estudos sobre hereditariedade realizados ao longo da segunda metade do século XIX traziam a proposta de relação entre processos celulares e herança biológica, apesar de não apresentarem evidências empíricas e de não serem capazes de prever com exatidão os resultados de cruzamentos experimentais (ALLEN, 2014). Concomitantemente a isso, as pesquisas sobre a bioquímica, os componentes e os processos celulares, ainda que inicialmente não enfocassem a questão hereditária, apresentavam conceitos que dialogavam diretamente com os resultados dos experimentos com cruzamentos (NEVES, 2020). Segundo Polizello e Martins (2012), nas últimas décadas do século XIX os estudos envolvendo células e embriões apresentaram grandes avanços, decorrentes, inclusive, do desenvolvimento de tecnologias para microscopia, como novos fixadores, corantes, técnicas de preparação dos materiais e desenvolvimento de microscópios mais potentes.

Esse período foi marcado por um movimento de “profissionalização” das pesquisas envolvendo seres vivos, pelo qual uma grande comunidade de naturalistas que trabalhava de forma mais descritiva, isolada, individualista, e que, portanto, encontrava mais obstáculo para o intercâmbio científico, passou a ser substituída por uma nova geração de cientistas com formação mais positivista, cuja prática (e formação) profissional fundamentava-se grandemente na experimentação e na análise quantitativa de dados. Isso levou ao surgimento de subáreas (disciplinas) diversas, como Evolução e Embriologia experimentais, Citologia, Histologia, Morfologia, Parasitologia, Fisiologia, e até mesmo as pesquisas envolvendo hereditariedade (a formar a Genética em período posterior). Essas novas áreas (à época) passaram a integrar os cursos de formação científica profissional, substituindo História Natural, de tal forma que a experimentação passou a ser um grande alicerce da prática científica envolvendo seres vivos, a partir de então (KÖHLER, 1993).

Sob a influência generalizada da teoria atómico-molecular, que foi tão proeminente nas Ciências Físicas na segunda metade do século XIX, os pesquisadores da hereditariedade enquadravam suas teorias em termos físico-químicos (como partículas ou unidades atomísticas). Quer em termos de estruturas visíveis como cromossomas, componentes submicroscópiocs, ou entidades imaginárias com gêmulas, Ids, entre outros, passou-se a associar diretamente a formação das características biológicas à ação de conjuntos de unidades intracelulares (ALLEN, 2014).

4.2 Pesquisas realizadas no século XIX sobre células e hereditariedade.

Entre as primeiras observações ao microscópio feitas por Robert Hooke (1635–1703) e Anton van Leeuwenhoek (1632–1723) no século XVII, até a identificação do núcleo celular em células de orquídeas, feita por Robert Brown (1773–1858), em 1831, passaram-se cerca de 150 (cento e cinquenta) anos, nos quais houve o desenvolvimento tecnológico quanto a instrumentos e técnicas para microscopia, foi impulsionado pelos avanços conceituais decorrentes dos modelos teóricos propostos a partir das pesquisas com células realizadas naquele período (BATISTETI *et. al.,* 2009).

Até o final do século XVIII, os naturalistas ainda se dividiam entre preformistas [20]e epigênicos[21] (THÉODORIDES, 1984). A partir da segunda metade do século XIX, houve ampliação dos conhecimentos sobre os processos celulares relacionados à reprodução e divisão celular (COSTA & MAGALHÃES, 2022). Nesse período houve trabalhos experimentais que corroboraram as ideias sobre espermatozoides e óvulos serem células com função reprodutiva, entendendo-se que ambos contribuem para a formação do zigoto em sua totalidade. Também nesse período, Friedrich Miescher (1844–1895) isolou uma substância química a partir do núcleo de linfócitos, à qual ele atribuiu o nome *nucleína*, que posteriormente vinha a ser estabelecida como DNA.

Apesar de atualmente se ter a noção da importância desse feito, à época o pesquisador não estabeleceu relação entre a nucleína com algum qualquer fenômeno celular (OLIVEIRA *et. al.,* 2004). Outro importante trabalho nesse campo, realizado naquele período foi feito por Oscar Hertwig (1849–1922), que identificou a fertilização entre os gametas de ouriços-do-mar, evidenciada pela fusão de núcleos ocorrida após o encontro dessas células. Hertwig percebeu também, que após essa fusão dos núcleos, ocorriam divisões celulares (segmentações), indicando multiplicação de células. Ainda na mesma década, identificou-se que a formação embrionária decorria desse processo (THÉODORIDES, 1984; POLIZELLO & MARTINS, 2012). De acordo com Justina (2001), anteriormente a essa época, já se fazia a relação direta entre o núcleo celular e a hereditariedade, porém, a evidência da fecundação punha fim às ideias preformistas e epigênicas ainda relutantes, uma vez que tornava clara a formação de descendentes a partir da combinação entre células de ambos os progenitores.

Em decorrência de tantos avanços científicos nessa área, não apenas as estruturas, mas também os processos celulares passaram a ser detalhadamente estudados pela comunidade científica. Nesse período, grande parte dos citologistas tinha formação em Fisiologia e Embriologia, o que favoreceu o desenvolvimento de pesquisas posteriores que buscaram estabelecer conexões entre a hereditariedade e

[20] Na “teoria do preformismo” argumentava-se que um embrião ou uma miniatura individual pré-existente, e que estaria de alguma forma encapsulado, todo pronto, seja no “sêmen” da fêmea (como se denominava a semente feminina) ou no sêmen do macho, começaria a se desenvolver a partir de estímulos apropriados, como por exemplo, o calor (COSTA & MAGALHÃES, 2022)

[21] Em oposição ao preformismo, William Harvey (1578–1657) empregou o termo “epigênese”, admitindo que o desenvolvimento embrionário era um processo gradual e progressivo, a partir de uma massa homogênea (BRITO & MARTINS, 2018).

a Citologia. Porém, antes disso, o processo de divisão celular foi amplamente explorado (STURTEVANT, 1965; MAYR, 1998).

Entre os pesquisadores que investigaram o processo de divisão celular, destaca-se aqui Eduard A. Strasburger (1844– 912). Esse renomado botânico polonês contribuiu imensamente para o desenvolvimento da Botânica moderna por meio de suas pesquisas sobre processos celulares, fisiológicos e reprodutivos em plantas (BALUŠKA et. al., 2012; VOLKMANN, et. al., 2012). Strasburger estudou detalhadamente divisões em células vegetais e em 1875 (mesmo ano em que Hertwig evidenciou a fecundação em ouriços), demostrou experimentalmente a divisão de células em *Tradescantia sp*, descrevendo a fragmentação do núcleo em duas partes iguais e caracterizando as 4 (quatro) principais fases do processo (THÉODORIDES, 1984). Em relação a isso, o botânico observou que o processo de divisão do citoplasma (citocinese) ocorre independentemente da divisão nuclear, contestando que a esse fosse um processo totalmente coordenado, como se apresentavam as discussões à época (BALUŠKA et. al., 2012).

Outro pesquisador que estudou as divisões celulares nesse mesmo período e apresentou contribuições muito significativas à HC foi Walther Flemming (1843–1905). Entre 1879 e 1882, ele estudou divisões celulares em salamandras, descrevendo especialmente o comportamento dos cromossomos durante esse processo. Flemming mostrou que ocorria a formação filamentos enovelados, organizando uma estrutura em rede no núcleo celular em divisão, que posteriormente se separavam em dois grupos. Em seguida esses dois grupos se reorganizavam, indicando uma continuidade do processo e formação de novos núcleos. Ao encontrar acúmulo de células em divisão em ferimentos e cicatrizes, Flemming concluiu que o processo de divisão celular garantia a regeneração dos tecidos (PAWELETZ, 2001).

Em vista das limitações[22] técnicas da época, Flemming testou vários tipos de corantes e fixadores químicos que pudessem auxiliá-lo na observação das finas estruturas que havia identificado, até que conseguiu desenvolver uma mistura de ácidos crómico, ósmico e acético glacial, que se mostrou muito eficiente para os trabalhos com células, sendo adotada como recurso por grande parte dos citologistas contemporâneos a ele e nomeada como “solução de Flemming”. Ao utilizar essa

[22] Foi justamente nessa segunda metade do século XIX que muitas técnicas e tecnologias foram desenvolvidas por esse grande grupo de pesquisadores.

solução em suas amostras, o pesquisador identificou reação positiva com a rede fibrosa que havia identificado e nomeou tal substância de *cromatina*. Posteriormente, em 1888, Heinrich Waldeyer-Hartz (1836–1921), cunhou o termo *cromossomo*, para se referir às unidades enoveladas descritas por Flemming. Em trabalhos posteriores, indicou e existência das fibras do fuso mitótico e dos centríolos, estruturas que vieram a ser comprovadas após o advento da microscopia eletrônica, a partir da década de 1920 (PAWELETZ, 2001).

Apesar de não terem as análises sobre os mecanismos hereditários entre seus principais objetivos, os trabalhos citológicos de Strasburger, Flemming de outros pesquisadores contemporâneos a eles, que nas últimas décadas do século XIX buscaram analisar o comportamento das células em divisão, foram fundamentais para que a relação entre células (principalmente por meio dos cromossomo) e "informação genética"[23] (principalmente por meio dos genes) pudesse ser esclarecida conceitualmente e evidenciada experimentalmente ao longo do século XX.

A tecnologia utilizada até aquele período da HC, não possibilitava a observação direta dos processos de forma contínua, visto que a células eram coradas e fixadas, além de não possibilitar a observação direta dos cromossomos durante o período de "repouso" do núcleo celular (atualmente definido como intérfase). Portanto, naquele momento da HC não se discutia mais sobre a possibilidade de participação do núcleo celular nos processos reprodutivos e hereditários, o que já era admitido como certo por grande parte da comunidade científica. Uma incógnita que se apresentava era sobre a integridade dos cromossomos durante todo o ciclo celular, pois, uma vez que não eram observados no núcleo em repouso, mas voltavam a se apresentar durante a divisão, havia margem para diferentes interpretações: (I) os cromossomos seriam estruturas temporárias, pois se desorganizariam e se misturam durante o repouso do núcleo; ou (II) apesar de "desaparecerem", os cromossomos se manteriam íntegros e não se misturariam durante o repouso do núcleo (STURTEVANT, 1965; POLIZELLO & MARTINS, 2012).

A partir de seus estudos com salamandras, Flemming apontou que os cromossomos seriam unidos por meio de suas extremidades, porém, durante a divisão celular se romperiam e ficariam isolados. Considerava que durante a intérfase, eles

[23] Os termos "informação genética" e "gene" não correspondem conceitualmente aos trabalhos realizados entre 1870 e 1900. Optou-se pela utilização desses termos para melhor compreensão do(a) leitor(a) já apropriado(a) da linguagem científica contemporânea do século XXI.

formariam uma rede fibrosa, mantendo sua integridade. Apesar de hoje se saber que essa era uma interpretação correta, no sentido da continuidade do material genético durante a intérfase, o pesquisador não dispunha de tecnologia apropriada para evidenciar sua hipótese. Em 1883, Flemming e outros pesquisadores daquela época observaram que durante a divisão do núcleo, os cromossomos são divididos longitudinalmente, e cada metade é conduzida em conjunto para formar o material nuclear das células-filhas que são formadas (POLIZELLO & MARTINS, 2012.

Nesse sentido, foram realizadas pesquisas com o objetivo de quantificar os cromossomos presentes nos núcleos celulares, para que se pudesse ter melhor compreensão sobre o seu comportamento durante o ciclo celular. Esse tipo de trabalho não tinha sido explorado até então, pois grande parte dos citologistas da época (incluindo Strasgurger), acreditavam que os cromossomos se desorganizavam durante a intérfase. A partir da década de 1880, identificou-se que o número de cromossomos era constante em diferentes tipos de células de uma mesma espécie. O embriologista belga Edouard Van Beneden (1846–1910), contemporâneo de Strasburger e Flemming, verificou que ovos fertilizados de *Áscaris sp* (lombrigas de equinos), apresentavam o mesmo número de cromossomos de células somáticas adultas, porém, antes da fecundação, os núcleos dos gametas apresentavam metade daquela quantidade. A partir de então, foi compreendido que os cromossomos dos gametas não se fundem e, portanto, a prole tem a mesma quantidade dos progenitores. Além disso, evidenciou-se o caráter reducional da divisão meiótica (STURTEVANT, 1965).

De acordo com Mayr (1998 e 2005), esse foi um período da HC, especificamente na área das Ciências Biológicas, em que trabalho de naturezas próximas, mas distintas (como Citologia e hereditariedade), ocorreram concomitantemente, e apesar de já existirem instituições e organizações responsáveis pela divulgação científica, a circulação de informação ocorria aos moldes da época, o que se refletia no tempo em que os pesquisadores levavam para tomar contato com os trabalhos de outros pesquisadores. Assim, enquanto as estruturas e processos celulares estavam sendo conhecido e descritos, houve a proposição das teorias sobre hereditariedade relatadas anteriormente neste capítulo. Posteriormente, as relações entre as áreas foram estabelecidas, o que culminou na consolidação da Genética e da Citogenética ao longo do século XX.

Outra área que se sofre mudanças bruscas nesse período foi a Embriologia. Já foram aqui relatados exemplos de pesquisadores e pesquisas que se envolveram com questões reprodutivas, porém, apesar de se valerem de evidências empíricas, esses o fizeram, em grande parte, por observações do material biológico. Motivados por dúvidas quanto ao processo de especialização celular, visto que as recentes descobertas davam conta de que células-filhas recebem exatamente o mesmo material que havia nas células-mãe (metade de casa progenitor), Wilhelm Roux (1850–1924) e Hans Driesch (1867–1941) realizaram alguns experimentos envolvendo células embrionárias, aos quais se atribui o início da Embriologia experimental (STURTEVANT, 1965; COSTA & MAGALHÃES, 2022).

Em 1883, Roux trabalhou com ovos de anfíbios e ouriços-do-mar, nos quais destruiu alguns blastômeros, obtendo a formação de embriões subdesenvolvidos. Em outro grupo experimental, apenas separou blastômeros[24] nos primeiros estágios de segmentação, obtendo larvas completas formadas a partir deles. A partir daí, o pesquisador buscou compreender melhor se o processo de diferenciação celular seria controlado por fatores internos (celulares) ou externos. Sua hipótese é que substâncias controladoras das características físicas estariam associadas aos cromossomos e, portanto, seriam direcionadas a células-filhas específicas, após as clivagens[25] dos blastômeros (GILBERT, 1991; COSTA & MAGALHÃES, 2022).

Em 1892, Driesch repetiu o protocolo experimental de Roux, utilizando embriões de ouriços-do-mar, porém, ao invés de destruir blastômeros, ele os separou por agitação. Como resultado, obteve embriões e larvas completamente formados, porém, com tamanho reduzido. O pesquisador concluiu então, que fatores externos ao material nuclear poderiam “induzir” o processo de diferenciação, e que os blastômeros, desde os estágios iniciais, tinham totais potencialidades de diferenciação para formar qualquer parte do organismo (GILBERT, 1991; COSTA & MAGALHÃES, 2022).

Portanto, a partir da década de 1880, já se apresentavam conhecimentos citológicos muito significativos para o desdobramento que viria a se apresentar algumas décadas posteriormente.

---

[24] Nesta tese “blastômeros” são apresentados como as primeiras células embrionárias formadas a partir da divisão do zigoto (célula inicial), no caso dos 2 (dois) primeiros, ou de outros blastômeros, no estágio inicial do desenvolvimento embrionário.

[25] Nesta tese “clivagens” referem-se às divisões celulares dos blastômeros, no início do desenvolvimento embrionário.

Justina (2001) apresentou a seguinte conclusão:

> Em 1884, Hertwig e Strasburger concluíram que o núcleo era o portador da hereditariedade. Hertwig e Kölliker[26], em 1885, afirmaram que o material verdadeiro e efetivo do núcleo era a nucleína isolada por Miescher. [...] Finalmente, foi também possível demonstrar experimentalmente que o núcleo é a sede do material genético. O estudo do comportamento dos cromossomos durante a fertilização esclareceu o problema da fusão dos gametas, com a comprovação de que não existe uma fusão dos cromossomos paternos e maternos. Este ponto de vista inaugura um campo de pesquisa totalmente novo, concentrando a atenção na questão de uma ação conjunta ou independente dos materiais genéticos paterno e materno (JUSTINA, 2001, p. 44-45).

4.2.1 O trabalho com cromossomos e a determinação sexual.

Como apontado anteriormente, o final do século XIX é marcado por intenso movimento científico nas áreas da Citologia, Embriologia Experimental, das pesquisas sobre hereditariedade, além de outras correlatas. As descobertas citológicas em relação às divisões celulares e ao comportamento dos cromossomos, juntamente com as teorias sobre a herança particulada, promoveram um cenário que favoreceu a "redescoberta"[27] dos trabalhos de Mendel. A partir disso, houve uma parcela da comunidade científica que criticou e questionou os princípios mendelianos, porém houve aquela que se implicou em pesquisar sobre a materialidade desses, estabelecendo relações com o conhecimento celular até então conhecido.

Em fevereiro e março de 1865, Johann G. Mendel apresentou seus trabalhos à Sociedade de História Natural de Brno, na Moravia (atual República Tcheca). Neles, o pesquisador explicitou seus resultados e conclusões sobre hibridizações que havia realizado utilizando plantas de ervilhas (*Pisum sativum*). Com já abordado anteriormente, tratava-se de um tipo de pesquisa amplamente praticado por pesquisadores e criadores de diferentes espécies cultivadas (animais e vegetais).

Classicamente, três botânicos são apontados como os "redescobridores" dos trabalhos de Mendel: Hugo De Vries, já apresentado nesta tese anteriormente, Carl

---

[26] Rudolf Albert von Kölliker (1817–1905) foi um médico fisiologista suíço, que contribuiu com a pesquisa citológica por trabalhos com tecido muscular e nervoso, além de ter demonstrado a origem celular dos espermatozoides.

[27] O termo apresenta-se entre áspas, visto a discussão acadêmica sobre se, de fato, os trabalhos foram ignorados ou esquecidos, para que pudessem ser posteriormente redescobertos. Para melhor embasamento sobre esse tema, indica-se as seguintes referências:
KESSEL, R.: Mendel—forgotten or ignored?.Journal of the Royal Society of Medicine, v. 95, n. 9, p. 474-474, 2002;
KEYNES, M.: Mendel—both ignored and forgotten. Journal of the Royal Society of Medicine, v. 95, n. 11, p. 576-577, 2002;
BATISTETI, C. B.; de ARAÚJO, E. S. N.; CALUZI, J. J.: O trabalho de Mendel: um caso de prematuridade científica? Filosofia e História da Biologia, v. 5, n. 1, p. 35-53, 2010.

Correns (1864–1933) e Erich Tschermak-Seysenegg (1871–1962) (ALLEN, 1969; NEVES, 2020).

De acordo com Neve (2020), De Vries, ao ler uma publicação estadunidense de 1895 que citava Mendel, constatou que seus trabalhos eram “confirmações” doque havia sido proposto por ele. Já Correns, foi grande estudioso do trabalho de Mendel, chegando até a escrever um artigo para a comemoração de seu centenário, em 1922. Esse pesquisador replicou a metodologia mendeliana em diversos trabalhos, envolvendo várias espécies vegetais, e obteve a confirmação equivalência em muitos dos seus resultados. Porém, houve também aqueles que acusassem “desvios” inesperados. Por fim, Correns foi um dos primeiros pesquisadores a propor uma *teoria cromossômica*, na qual a transmissão hereditária se daria por unidades que formariam pares, mas também se dividiriam durante a formação de gametas. Por fim, Tschermak teve destaque como “melhorista” de plantas, tendo sido um grande adepto e divulgador dos trabalhos de Mendel por volta do ano 1900.

Todos esses pesquisadores foram importantes nesse processo de divulgação dos princípios mendelianos, da mesma forma que William Bateson (1861–1926), pelo fato de ter sido o primeiro a traduzir os trabalhos de Mendel para o inglês e divulgá-lo para a comunidade científica britânica da época (NEVES, 2020). Bateson foi um dos grandes cientistas desse contexto no início do século XX, em meio aos trabalhos “pioneiros” da Genética. Teve uma formação acadêmica muito diversa, vindo a trabalho com inúmeras espécies animais e vegetais, e alternando diferentes linhas de pesquisa. Iniciou sua carreira como cientista por meio de trabalhos com morfologia e embriologia animal, vido a propor novas relações de classificação entre protocordados e vertebrados. Posteriormente, dedicou-se a estudar variações associadas a condições ambientais específicas, por conta de sua passagem pela Sibéria e Egito. Muitas dessas variações estudadas por Bateson apresentavam comportamento descontínuo, o que gerou grandes preocupações a ele, visto sua influência darwinista, que apontava para um processo evolutivo gradual por meio de variações contínuas (MARTINS, 1997 e 2002a; NEVES, 2020).

A abordagem “genética”[28]da evolução nesse período apontava para o surgimento descontínuo de variações, haja vista os trabalhos anteriormente descritos

[28] Termo “genética” utilizado entre aspas, pois no período ao qual se refere, a Genética não havia ainda se consolidade como área científica. Optou-se pela utilização desse termo para melhor compreensão do(a) leitor(a) já apropriado(a) da linguagem científica contemporânea do século XXI.

sobre herança particulada. Ao abordar a questão das variações descontínuas, Bateson parecia estar levantando discussões que Darwin já teria solucionado. Assim, Bateson voltou a ocupar-se com questões sobre hereditariedade. Por meio de suas pesquisas sobre hereditariedade, veio a ter contato com os trabalhos de De Vries e de Mendel, passando a adotar o "mendelismo" como referência absoluta (MARTINS, 1997 e 2002a; NEVES, 2020).

Em 1902, publicou sua obra *"Mendel´s principles of heredity: a defence*", por meio do qual divulgou seus trabalhos fundamentados nos princípios mendelianos, como também, apresentou uma biografia sobre Mendel, juntamento com a tradução para o inglês de seus dois trabalhos apresentados em 1866. Além disso, Bateson discutiu também suas pesquisas que o levaram a encontrar desvios daqueles princípios (MARTINS, 1997 e 2002a; NEVES, 2020).

Pode-se dizer, de certa forma, que nesse mesmo contexto, em 1900 Edmund B. Wilson (1856-1939), citologista e embriologista estadunidense, professor e pesquisador em *Bryn Mawr Coll*ege, (Pensilvânia) e Universidade de Columbia (Nova Iorque), publicou sua obra *"The Cell in Development and Inheritance"*, por meio da qual apresentou diversas informações de seus estudos prévios, inclusive defendendo a ideia de que os cromossomos eram estruturas individualizadas, em vista do número constante observado nas células. Porém, ainda restavam dúvidas sobre a integralidade dos mesmos, visto seu desaparecimento no período de intérfase, que abria margem para a ideia de que poderia haver reorganização desse material no estágio em que não eram observados. Wilson defendia que qualquer explicação para os fenômenos biológicos deveria ser fundamentada em observações diretas do organismo, em vez de depender de conceitos abstratos e não comprovados, como as unidades particuladas de hereditariedade. Sendo assim, na obra citada apresentou críticas em relação a explicações que isolavam partes do organismo tidas como responsáveis pela determinação das características, como no caso dos cromossomos (MARTINS, 1997 e 1999a).

Posteriormente, em 1902, o embriologista alemão Theodor Boveri (1862–1915) realizou experimento com embriões de ouriço-do-mar, gerados a partir de fecundação entre um óvulo e mais de um espermatozoide. Boveri, defendia a ideia de que os cromossomos seriam individuais e não sofreriam alteração durante a intérfase. Segundo ele, se os cromossomos fossem iguais, ou fossem arranjos aleatórios de

unidades hereditárias[29], experimentos como aquele deveriam resultar em embriões e larvas viáveis, diferentemente do que era obtido. Dessa forma, compreendeu que era necessária uma combinação específica (definida) de cromossomos para que as células se desenvolvessem normalmente e, portanto, identificou que os diferentes cromossomos apresentam "identidade" específica, além de não sofrerem rearranjos ao longo do ciclo celular. É importante ressaltar que apesar da realização de experimentos, tais conclusões foram obtidas sem observações diretas sobre a ação dos cromossomos no desenvolvimento das células (MARTINS, 1997 e 1999a; SANTOS, 2015).

Naquele mesmo ano de 1902, o zoólogo estadunidense Walter Sutton (1877–1916), que foi orientado de Wilson, publicou um artigo no qual apresentava resultados de suas pesquisas com gametas de gafanhotos. Naquele período, não eram comuns os trabalhos envolvendo gametas femininos, devido a dificuldades metodológicas e mesmo à questão quantitativa em relação à produção, quando comparada com a masculina. Porém, Sutton realizou esses experimentos com ambos os tipos de gametas e concluiu que os processos cromossômicos eram muito semelhantes entre eles. Além disso, fundamentou-se no trabalho de Boveri e apresentou algumas outras conclusões, entre elas: (I) espermatozoides e óvulos apresentam quantidades e tipos iguais de cromossomos; (II) cromossomos matêm sua integridade durante o ciclo celular; (III) cromossomos "equivalentes" [30]masculinos e femininos se unem em sinapse e depois se separam na formação dos gametas (MARTINS, 1997 e 1999a).

No ano seguinte, em 1903, Sutton publicou outro artigo, no qual relacionava diretamente os fatores mendelianos aos cromossomos. Esse é considerado o primeiro registro científico sobre a relação entre os princípios mendelianos e sua materialidade por meio de estruturas presentes nas células. Segundo Martins (1997 e 1999), houve alguns desafios para a proposta de Sutton, em vista das próprias hipóteses do pesquisador: *Se os cromossomos masculinos e femininos não se juntavam, como seria possível o surgimento de variações? Observava-se muitas variações nas espécies, em número incompatível com as possibilidades de combinações de gametas. Em caso da separação dos cromossomos masculinos e femininos durante*

[29] Neste trabalho Boveri fundamentou-se na proposta de Weismann sobre a perpetuação do plasma germinativo, por meio das partículas como Ids (equivalentes aos atuais cromossomos) e bióforos (equivalentes aos atuais genes).

[30] Termo usado para se referir a cromossomos homólogos.

a geração de gametas, como seria possível descendentes apresentarem características de ambas as linhagens? Nesse sentido, entende-se que as limitações técnicas e conceituais imponham obstáculos para uma comprovação mais cientificamente robusta (MARTINS, 1997 e 1999a).

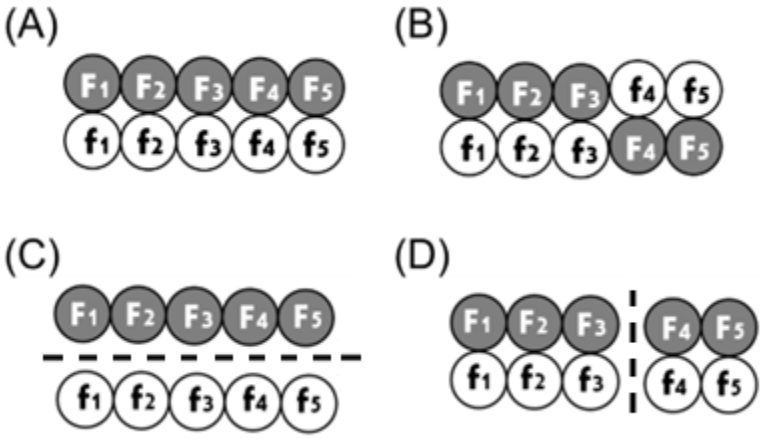
A partir dessas pesquisas, firmou-se a proposta da *Haaaaaaazipótese cromossômica de Sutton e Boveri*, que segundo Martins (1997), seria uma teoria que descreve o comportamento dos cromossomos durante o ciclo celular e os relaciona à transmissão hereditária de características biológicas. A autora aponta ainda, que essa teoria não se prestava a debater questões mais complexas sobre desenvolvimento e evolução.

Segundo Sturtevant (1965), em 1902 Carl Correns, um dos "redescobridores" de Mendel, também apresentou proposta sobre a relação entre os fatores hereditários e os cromossomos. A representação usada pelo pesquisador foi uma metáfora com um colar, no qual as contas representariam os fatore, que se apresentariam alinhados e em fileira dupla, respeitando o princípio dos pares de fatores. De acordo com esse modelo, os cromossomos sofreriam separação durante a divisão mitótica, diferentemente do que os citologistas da época apontavam. Para esses, durante a mitose ocorreriam divisões em sentido longitudinal e durante as meioses, ocorreria redução através de divisões transversais, algo que se ocorresse, de fato, geraria células com apenas fragmentos de cromossomos e, portanto, faltaria informação biológica para torná-la viável. O modelo de Correns também apresentava um tipo de troca de material entre os cromossomos em sinapse, muito semelhante à proposta de permutação (*crossing-over*), apresentada na década de 1920.

As pesquisas sobre os cromossomos e a natureza física dos fatores hereditário, realizadas no início do século XX, sofreram influência de outra temática também muito presente nas antigas buscas da humanidade por grandes respostas: a determinação do sexo biológico. Desde os filósofos gregos antigos, como Aristóteles, que associava o calor à definição do sexo biológico, chegando até as teorias sobre herança particulada, as diferenças e semelhanças entre machos e fêmeas, sempre despertaram a curiosidade não apenas da comunidade científica (MAYR, 1998; CALDAS, 2017). No contexto científico em que as pesquisas visavam a compreensão sobre os mecanismos hereditários associados às características biológicas, utilizar o sexo como caráter discreto mostrou-se uma estratégia muito profícua, afinal, tem-se

aí uma característica facilmente identificável e claramente definida. Algo, a priori, extremamente relacionado com os princípios mendelianos[31].

Figura 2: Representação do modelo cromossômico de Correns com a distribuição dos fatores hereditários (F1 a F5; f1 a f5). (A) Disposição dos fatores hereditários em forma integral; (B) Permutação de fatores; (C) Divisão em sentido longitudinal; (D) Divisão em sentido transversal.



Fonte: o autor da tese, fundamentado em Martins (1997, cap. 3, p. 42).

Segundo Martins (1999b), entre 1899 e 1902, o zoólogo Clarence E. McClung (1870–1946), que foi orientado por Wilson na Universidade de Columbia, pesquisou espermatogênese em gafanhotos e descreveu a ocorrência um "corpúsculo" fortemente corado no núcleo de espermatogônias, que sofria alterações morfológicas durante o ciclo celular, retornando à sua estrutura original ao final dele. McClung entendeu que se tratava de um tipo especial de cromossomo, que não se pareava com um semelhante, porém comportava-se de maneira equivalente aos outros, dividindo-se durante a divisão celular. Dessa forma, o classificou como "cromossomo acessório", representando-o esquematicamente pela letra "X". Posteriormente em suas pesquisas, o cientista identificou diversos outros trabalhos relatando evento semelhante em outras espécies animais.

A partir de suas análises envolvendo fecundação a partir de espermatozoides com e sem o cromossomo acessório, McClung chegou à conclusão de tratar-se da estrutura determinando do sexo biológico, presente no gameta e transmitida à geração descente. Essa conclusão alinhava-se às propostas de Boveri quanto à particularidade dos cromossomos, uma vez que se isso não ocorresse, a presença ou a ausência do cromossomo acessório não geraria qualquer efeito, justamente o

[31] Trata-se aqui da interpretação do autor da tese e, portanto, faz-se necessária a explicitação de que não há referência à relação de dominância e recessividade em relação às "variantes" do sexo biológico.

contrário do que McClung analisou. Portanto, o fato de existir um cromossomo diferenciado possibilitava analisar sua influência na fisiologia celular, como também na expressão da característica. Assim, McClung e depois seus orientandos, como Walter Sutton, dedicaram-se à pesquisa sobre a influência dos cromossomos na determinação sexual (MARTINS, 1999b).

Por fim, McClung assumiu que esse cromossomo especial determinava o sexo masculino, postulando que machos apresentariam um cromossomo a mais do que fêmeas (o que foi considerado equivocado posteriormente). Um fato importante desse trabalho foi o empirismo empregado pela possibilidade de observação direta. Além disso, a característica favorecia uma análise mendeliana, o que se mostrou importantíssimo para a proposição da TCH, posteriormente (MARTINS, 1999b).

Nesse período, as pesquisas envolvendo cromossomos foi bastante intensa, em vista das limitações apresentadas pela hipótese de Sutton e Boveri. Como já abordado anteriormente, os trabalhos que fundamentavam a hipótese careciam de evidências citológicas mais robustas, pois apesar das observações diretas, não se tinha à época, como comprovar, de fato, a integralidade dos cromossomos ao longo do ciclo celular, ou mesmo sua atuação fisiológica. Outro problema em quanto à relação dos trabalhos citológicos e de hereditariedade é que os primeiros, em geral, envolviam organismo “puros” (homozigotos), preparados por meio de seleção artificial, enquanto que os cruzamentos experimentais envolviam “híbridos” (heterozigotos) (BRITO & MARTINS, 2005 e 2008).

Em relação ao comportamento específico dos cromossomos, até o início da década de 1900, não se tinha compreensão clara sobre o pareamento dos equivalentes (homólogos), se esse ocorria pelas extremidades dos cromossomos ou ao longo de suas extensões. Quanto à expansão do mendelismo, os princípios mendelianos passaram a ser intensa e amplamente testados por diversos grupos de pesquisa, o que acarretou inúmeras descobertas de desvios daqueles princípios, tanto em espécies vegetais como animais. Além disso, até então não se havia tido qualquer evidência experimental sobre a segregação independente dos fatores, algo que seria fundamental na plena corroboração das teorias de Mendel. Nesse sentido, a busca pela natureza material dos fatores, como também, pela evidenciação de sua localização nos cromossomos, se fazia necessária para os apoiadores do mendelismo (BRITO & MARTINS, 2005 e 2008).

Como discutido anteriormente, nesse cenário, trabalhar com o sexo tomado como uma característica de comportamento mendeliano (facilmente identificável, estatisticamente discreta, duas possibilidades de expressão) se mostrava como uma linha de pesquisa potencialmente interessante.

No início do século XX havia duas grandes hipóteses em relação à determinação sexual: seria por meio do material biológico carregado pelas células reprodutivas, a exemplo dos achados de McClung, ou seria pela ação de fatores externos, como fatores ambientais, nutrição e etc. Assim, em 1905 um trabalho publicado por Wilson, fundamentado em pesquisas já realizadas com insetos hemípteros e em seus experimentos com esses animais, identificou diferentes grupos de insetos que apresentavam dimorfismo sexual em 1 (um) par cromossômico, ou seja, machos e fêmeas diferentes por um único cromossomo, e outros grupos de insetos nos quais havia aneuploidia em 1 (um) par cromossômico, de maneira que asa células de indivíduos de um sexos apresentava “falta” de um cromossomo quando comparado com as células de indivíduos do sexo oposto (BRITO & MARTINS, 2005 e 2008).

Naquele mesmo ano de 1905, Nettie Maria Stevens (1861–1912), bióloga e geneticista estadunidense, buscou o cromossomo acessório de McClung, seu antigo orientador, em diferentes grupos de insetos, analisando tanto a espermatogênese, como a ovogênese. Como já discutido anteriormente, essa era uma metodologia pouco usual entre os citologistas daquele período. Entre seus resultados, identificou em um grupo de besouros (*Tenebrio sp*), espermatozoides que apresentavam o mesmo número de cromossomos dos óvulos, porém, entre os espermatozoides havia dois tipos: um que apresentava cromossomos de tamanhos equivalentes aos observados nos óvulos, e outro, que dentre o conjunto cromossômico, apresentava 1 (um) exemplar com tamanho reduzido, quando comparado com o material das fêmeas. Devido ao grande esforço amostral, quanto à diversidade de materiais (reprodutivos e somáticos) analisados pela pesquisadora, seu trabalho permitiu conclusões futuras sobre os sistemas de determinação sexual, principalmente o “XY”, no qual o “cromossomo acessório”, faz parte do material feminino (a cromatina sexual).

4.3 Os trabalhos de Thomas H. Morgan e seus colaboradores.

Apesar de a História da Ciência revelar que Thomas Morgan (1866 – 1945) não foi o único pesquisador a colaborar com o estabelecimento histórico da TCH no campo da Genética e tampouco o fez de forma independente de colaboradores e influências, não há dúvidas sobre importância de sua participação nesse processo. Assim, sua trajetória como pesquisador, suas influências profissionais, como também algumas de suas relações e experiências pessoais, foram determinantes na construção de seu trabalho científico. Ao tentarmos resumir as marcas deixadas por esse pesquisador na história da TCH é preciso que sejam consideradas suas concepções científicas e os diferentes contextos em que elas foram estabelecidas, pois muitos posicionamentos assumidos por ele, bem como suas mudanças de pensamento, conduziram grande parte de suas pesquisas e influenciaram diretamente nos desdobramentos delas.

Também é importante que sejam destacadas as colaborações que Morgan teve em suas pesquisas e os trabalhos de outros(as) pesquisadores(as) que influenciaram, direta ou indiretamente, suas concepções, seu trabalho e a construção dos conhecimentos que atualmente são preferencialmente atribuídos a ele. Isso auxilia no processo de descaracterização da figura genial, diferenciada e única associada aos grandes nomes da Ciência, aproximando assim o(a) aprendiz de concepções mais fiéis aos aspectos da Natureza da Ciência (NdC).

Morgan graduou-se em História Natural no ano de 1866 na *State College of Kentucky* (EUA) e obteve seu doutoramento em 1890 pela *Johns Hopkins University* em Baltimore, Estado de Maryland (EUA), por meio de pesquisas envolvendo embriologia comparada de invertebrados marinhos. Nesse período, Morgan foi também muito influenciado pelos trabalhos de William Keith Brooks (1848-1908), seu professor de Morfologia e Embriologia, que à época dedicava-se aos estudos de tradição naturalista (descritivos) do desenvolvimento embrionário. Em 1883 Brooks publicou *The law of heredity*, obra na qual tomou como referências a pangênese defendida por Charles Darwin e a teoria do plasma germinativo proposta por August Weisman. Sob influência de Brooks, Morgan desenvolveu grande interesse pela filogenia, passando também a dedicar-se aos estudos sobre processos de diferenciação celular, desenvolvimento embrionário e regeneração (ALLEN, 1978; MARTINS, 1997).

Apesar de toda essa influência naturalista, ainda durante sua graduação Morgan passou gradativamente a apresentar críticas a essa tradição científica, entendendo ser necessário substituir o caráter especulativo das metodologias descritivas aplicadas em pesquisas sobre os processos hereditários e de desenvolvimento, pela rigorosidade de métodos mais experimentais. Esse posicionamento de Morgan integrava-se à tendência positivista observada em algumas linhas de pesquisa no campo das Ciências Biológicas daquele período (ALLEN, 1978; MARTINS, 1997).

Em 1901, Morgan publicou *Regeneration: old and new interpretations*, obra em que apresentou os resultados de seus trabalhos com embriologia experimental. Entre suas conclusões, afirmou que fatores internos das células controlam o desenvolvimento embrionário por meio de processos físicos e químicos, ainda que existam influências ambientais nos mesmos, e dessa forma, o trabalho dos cientistas deveria ser compreender as "leis" que regeriam esses processos ocorridos nas células. Outra grande influência nos trabalhos e na obra científica de Morgan foi a de seu chefe e amigo Edmund B. Wilson (1856-1939).. Em 1896, Wilson publicou sua principal obra, *The cell in development and inheritance*, que juntamento com outros trabalhos compuseram o conjunto de pesquisas que influenciaram Morgan a rever suas críticas a aquela hipótese a partir de 1910 (KHÖLER, 1994; MARTINS, 1997).

A partir de 1904, Morgan iniciou seus trabalhos como pesquisador e professor na *Collumbia University*, em Nova York (EUA), e expandiu sua atuação científica, passando a ocupar-se com 3 (três) grandes temas de pesquisa: a determinação sexual, a Evolução experimental e a hereditariedade. A partir de então, ele tomou contato com trabalhos realizados por grupos de pesquisadores(as) cujos objetivos envolviam diversas questões, passando a conhecer diferentes metodologias de pesquisa e vindo a utilizar variadas espécies como modelos experimentais, ampliando assim sua rede de contatos e repertório técnico, algo que foi diferencial em sua trajetória profissional. Naquele mesmo ano casou-se com Lilian V. Sampson (Morgan) (1870–1952), uma citologista que havia sido sua aluna na Pensilvânia e que contribuiu com as pesquisas posteriores sobre herança, ao estudar os cromossomos sexuais em drosófilas (KHÖLER, 1994; MARTINS, 1997).

Como já relatado anteriormente neste trabalho, a comunidade acadêmica daquele período direcionava atenção e esforços para algumas questões centrais no

estabelecimento do contexto científico no campo das Ciências Biológicas. Destaca-se aqui a Teoria Celular, a Evolução biológica a partir das propostas de Darwin, e especificamente quanto à compreensão sobre hereditariedade, as pesquisas envolvendo cruzamentos controlados de plantas e animais, que acarretaram a "redescoberta" dos trabalhos de Mendel, e a Embriologia experimental. Nesse contexto, Morgan assumiu posicionamento crítico aos princípios mendelianos e à teoria da Seleção Natural na perspectiva darwinista. Isso o levou também a se opor às primeiras propostas que relacionaram herança biológica e cromossomos, caracterizadas à época como hipótese cromossômica da herança (MARTINS, 1997; MARTINS & BRITO, 2006).

É importante ressaltar que a falta de comprovação experimental em propostas científicas era sempre uma grande "barreira" para a aceitação das mesmas por Morgan. Esse posicionamento que o pesquisador adotou em relação aos estudos sobre mecanismos hereditários e a teoria darwinista, valeu também para suas objeções e críticas aos princípios mendelianos. (MARTINS & BRITO, 2006; ALLEN 2014)

Também em 1903, o naturalista holandês Hugo Marie De Vries publicou sua Teoria da Mutação[32], pela qual buscou explicar variações observadas entre gerações diferentes, que inicialmente foram interpretadas como promotoras de novas espécies, possibilitando assim, a concepção de um processo de "especiação" muito mais rápido e intenso do que a proposta lenta e gradual de Darwin. Os trabalhos de De Vries influenciaram muito as pesquisas de Morgan, pois ele encontrou naquele conceito de mutação uma proposta que fundamentava suas percepções a respeito do processo de evolução biológica. Sendo assim, passou a investigar a possiblidade daquele tipo de mutação em outros modelos experimentais, principalmente espécies animais. Começou aí um processo investigativo que culminaria nos trabalhos com *D. melanogaster* a partir de 1908 (ALLEN,1969; MARTINS, 1999b; NEVES, 2020).

Apesar dessa grande influência em seus trabalhos, no início dos anos 1900, Morgan ainda apresentava muitas críticas aos princípios mendelianos, que estavam ganhando destaque entre a comunidade científica envolvida com as pesquisas sobre hereditariedade. De uma forma geral, nesse período ele se mostrava muito insatisfeito

[32] VRIES, Hugo de. Die Mutationstheorie: Versuche und Beobachtungen über die Entstehung von Arten im Pflanzenreich., 1901

com proposições sobre herança particulada. Tanto para os fatores mendelianos, como para os determinantes de Wiesmann, entre outros, e mesmo para as propostas dos citologistas envolvendo os cromossomos como unidades relativas à herança biológica, Morgan criticava o caráter pouco experimental e, por conseguinte, especulativo, segundo ele. Em relação ao mendelismo, as críticas de Morgan recaíam também sobre algumas ideias fundamentais, como as propostas sobre segregação de fatores durante a formação dos gametas. Para ele, não se tinha um modelo explicativo robusto sobre o mecanismo de separação desses fatores nas células. Dessa forma, era possível tecer críticas à concepção de “gametas puros”, ou seja, de total separação entre o par de fatores. Morgan sugeria que pudesse haver interferência entre fatores em um mesmo gameta (ALLEN, 1978; MOORE 1993, MARTINS, 1997).

Outro ponto importante ressaltado por ele era o constante registro de exceções às razões mendelianas, por meio de trabalhos envolvendo diversas espécies. Casos que atualmente são atribuídos a interações alélicas, polialelia e mesmo as características contínuas (poligênicas), foram sendo reveladas naquele período, abrindo espaço para esse tipo de crítica. Tem-se como exemplo o caso de alelos letais envolvendo pelagem de ratos estudado por Lucien Cuénot (1866-1951) naquele início de século. Sem saber sobre ação deletéria daqueles alelos, Cuénot investigou a coloração de reatos e obteve razões diferentes das esperadas, haja vista que indivíduos homozigotos apresentavam problemas durante a formação embrionário e, portanto, não chegavam a ser percebidos pelo pesquisador quando da avaliação dos dados. Nesse caso específico, por exemplo, Morgan propôs uma discussão envolvendo a não segregação dos fatores envolvidos (MARTIS, 1997; BRITO & MARTINS, 2006).

As críticas de Morgan ao mendelismo também foram recorrentes em seus trabalhos envolvendo a determinação sexual nos animais. Pesquisando sobre essa temática naquele início de século, ele teve contato com diversos trabalhos que investigavam a constituição do núcleo celular, relacionando estruturas ali presentes à questão sexual e também à herança biológica. Como já explicitado anteriormente nesta pesquisa, o conjunto dessas propostas levou à frequente associação entre fatores hereditários e os cromossomos, algo que naquele período foi classificado como hipótese cromossômica da herança. Além dessa associação, houve pesquisas

que buscavam estabelecer paralelos entre essa hipótese e a natureza física dos fatores mendelianos, propondo a ocorrência desses junto aos cromossomos. Apesar de parecer contraditório em vista daquilo que atualmente se associa à figura de Morgan como cientista, todo esse conjunto de propostas recebeu suas críticas, visto que ele se colocava como opositor daquela hipótese (KHÖLER, 1994; MARTIS, 1997; BRITO & MARTINS, 2006).

Como já relatado anteriormente nesta pesquisa, McClung já haviam produzido trabalhos nos quais apontaram sobre a participação de determinantes sexuais intracelulares e relação desses com cromossomos. No mesmo período, Sutton e Boveri associaram os fatores mendelianos para a herança com a constituição dos cromossomos e William Castle (1867–1962), com a determinação sexual. Segundo esse pesquisador, os indivíduos heterozigotos teriam fatores dominantes e recessivos conforme o sexo, ou seja, machos teriam o fator para macho dominante e o fator para fêmea recessivo, sendo o contrário em fêmeas heterozigotas. Dessa forma, ambos os exemplos poderiam gerara descendentes machos e fêmeas em proporção 1:1. Para que isso fosse possível, Castle admitia a ocorrência de fertilização seletiva, na qual o processo se daria apenas entre gametas com os mesmos fatores dominantes. Em seu artigo, Morgan apresentou críticas a todas essas pesquisas (MARTINS, 1997; 1999a e 1999b).

Após alguns anos pesquisando a reprodução e determinação sexual nos pulgões, Morgan passou a considerar uma participação “secundária” dos cromossomos nesse processo. Apesar de continuar insistente sobre o papel central do citoplasma, ele percebeu redução no número cromossômico dos pulgões machos, passando a considerar a existência de pares cromossômicos “sexuais”. Nessa época, além dos trabalhos de McClung com os “cromossomos acessórios”, Wilson e Stevens realizaram suas pesquisas sobre o que posteriormente viriam as ser os sistemas de determinação sexual identificados em insetos (MARTINS, 1997; 1999a e 1999b).

Apesar dos avanços nas pesquisas da época sobre o comportamento dos cromossomos ao longo do ciclo celular, não se tinha evidências experimentais diretas quanto à ocorrência dos fatores mendelianos em suas composições. Assim como Morgan, parte da comunidade científica contestava a integralidade dos cromossomos por entender ocorrerem misturas no processo de divisão celular, uma vez que não se podia observá-los durante a fase de aparente inatividade do núcleo. Quanto a isso,

Morgan concebia que os cromossomos se entrelaçavam durante a produção de gametas (MARTINS, 1997; 1999a e 1999b).

A exemplo do que pensava sobre o mendelismo, Morgan entendia haver muitas exceções em relação à participação dos cromossomos na determinação sexual, haja vista resultados aparentemente contraditórios de pesquisas envolvendo grupos animais diferentes. Em alguns casos o sexo masculino era determinado por "homozigose", já em outros, por "heterozigose". Além disso, havia falhas no modelo explicativo para partenogênese e outras questões envolvendo ploidia das células. Sobre isso, ele entendia que a interação de "propriedades" produzidas por todo o conjunto cromossômico é que determinavam as características hereditárias, contrapondo-se à ideia de caracteres unitários presentes nos cromossomos, algo que, inclusive, demandaria um número muito maior dessas estruturas tendo-se em vista as diversas características associadas de um organismo. Portanto, até 1910 Thomas Morgan apresentava diversas críticas a hipóteses científicas que a partir de então, passariam a fazer parte dos trabalhos realizados por ele e outros cientistas sob sua orientação. Por conta disso, atualmente entende-se que houve uma mudança brusca no posicionamento desse pesquisador, acarretando grandes transformações em sua carreira (KHÖELER, 1994; MARTINS 1997).

4.4 As pesquisas sobre hereditariedade utilizando *Drosophila melanogaster* como organismo modelo.

Como já relatado anteriormente, a partir de 1903 Morgan teve contato com a Teoria da Mutação de Hugo De Vries e inspirado por ela, iniciou uma linha de pesquisa com o objetivo de identificar esse tipo de mutação em animais. Para isso, buscou organizar estruturalmente se trabalho em termos metodológicos diante das condições que dispunha. Posteriormente nesta pesquisa serão abordadas as questões mais específicas que envolveram o contato e a escolha do modelo biológico experimental, de forma que tais trabalhos foram feitos com moscas da espécie *Drosophila melanogaster*. A partir de 1908, as chamadas "moscas-das-frutas" ou "moscas-do-vinagre" passaram a sofrer procedimentos que induzissem a ocorrência de mutações (no conceito de De Vries) e foram submetidas a cruzamentos controlados, a fim de que fossem analisados os padrões de herança daquelas. Morgan utilizou, por exemplo, técnicas anteriormente empregadas por seu amigo Jacques Loeb (1859 –

1924) na mesma espécie, irradiando as drosófilas com amostras radioativas de rádio, com a intenção de induzir mutações, porém, nesses casos a técnica se mostrou ineficiente (ALLEN, 1975; MARTINS, 2002b; MARTINS & PRESETES, 2012).

Os trabalhos com as moscas foram se estabelecendo como rotina na pesquisa de Morgan e do grupo de colaboradores sob sua orientação. Destaca-se aqui a chegada de 3 (três) novos membros que futuramente se tornariam importantes referências nessa linha de pesquisa: Alfred Henry Sturtevant (1891-1970) e Calvin Blackman Bridges (1889-1938), dois estudantes de graduação da mesma Universidade de Collumbia em que Morgan era docente; e Herman Joseph Muller (1890-1967), que era doutorando orientado por Edmund Wilson. Foi com a colaboração majoritária desses orientados que Morgan desenvolveu seus principais trabalhos com a genética das drosófilas (ALLEN, 1975; MARTINS, 1997; MARTINS, 2002b)

De acordo com a maioria das fontes consultadas, em maio de 1910, Calvin Bridges identificou um indivíduo macho de olhos brancos em meio ao estoque de cultivo das drosófilas, localizado na sala que viria a ser conhecida futuramente como “Sala das moscas” (*Fly room*), na Universidade de Collumbia. Encarregado da manutenção daquele acervo, o jovem estudante percebeu aquele espécime diferente em meio aos outros justamente pela peculiaridade dos olhos, uma vez que o caráter selvagem da espécie é coloração vermelha (STURTEVANT, 1965; MOORE, 1993; KOHLER, 1994). Shine e Wrobel (1976) apresentam a versão não reconhecida por Morgan, de que ele teria recebido aquela mosca em meio a um estoque que lhe fora enviado por Frank Lutz (1879-1943), que pesquisava fisiologia e respostas comportamentais de insetos no *Cold Spring Harbor* em Nova York. Sobre isso, Mori (2012) afirma:

> Toda essa disputa pela autoria da descoberta do mutante de olho branco justifica-se não só por ter sido o primeiro mutante encontrado em *D. melanogaster* (MORGAN, 1910; WALLACE, 1992), mas principalmente porque os trabalhos do grupo de Morgan, usando esse mutante, serviram de base para os fundamentos da Genética Moderna. (MORI, 2012, p. 97)

A variação identificada foi associada à uma mutação e a partir daí, Morgan interessou-se por investigar a transmissão hereditária dessa, promovendo cruzamentos controlados do macho de olhos brancos com fêmeas de olhos vermelhos e da mesma geração (“P”). A partir desses cruzamentos foi obtida uma nova geração

(“F1”) composta quase totalmente por moscas de olhos vermelhos. Ocorreram apenas 3 (três) machos de olhos brancos nessa geração que, a princípio, foram ignorados por Morgan, tendo seu surgimento atribuído à ocorrência de mutação. Posteriormente esses indivíduos foram usados por Bridges em seu trabalho de doutorado, sendo esse considerado como uma das principais comprovações da TCH (MORI, 2012).

Ao cruzar os indivíduos da geração F1, Morgan obteve nova geração (“F2”) composta por fêmeas e machos de olhos vermelhos, e apenas machos de olhos brancos. Isso levou à conclusão de que o caráter estaria restrito ao sexo masculino. Em cruzamentos posteriores surgiram fêmeas de olhos brancos, o que excluiu a restrição quanto ao sexo, mas permitiu concluir sobre a ligação daquele caráter com o sexo biológico das moscas. Ao apresentar sua hipótese para explicar esses dados, Morgan associou ambos os caracteres (cor dos olhos e sexo biológico) a fatores hereditários mendelianos. Apesar de não cogitar associação do sexo com cromossomos, mantendo seu posicionamento crítico em relação à hipótese cromossômica, ao utilizar termos e metodologias mendelianas Morgan sinalizou um início de mudança quanto às suas concepções científicas (STURTEVAN, 1965; MARTINS, 1997).

Os cruzamentos continuaram sendo feitos pois Morgan buscou verificar se sua hipótese sustentaria predições de resultados desses cruzamentos controlados. Seus dados o levaram a concluir que drosófilas machos selvagens eram todos heterozigotos para o caráter cor dos olhos, algo que, segundo suas análises, acarretaria um grande número de indivíduos com olhos brancos nas populações, porém isso não foi observado empiricamente e nem nas populações naturais. Por entender a relação da cor de olho com o sexo naquela espécie de moscas, o pesquisador chegou à conclusão que a heterozigose dos machos também se aplicava à determinação sexual. Isso contrastou com pesquisas já feitas naquela época por outros pesquisadores, que mostravam sistemas sexuais nos quais os machos eram homozigotos. Além disso, Morgan necessitou utilizar a fertilização seletiva entre seus argumentos para sustentar sua hipótese, uma vez que não associou os fatores aos cromossomos sexuais (MARTINS, 2002b).

Sobrei isso, Martins (1997) concluiu:

> Assim, de certa forma, pode-se dizer que Morgan estava sendo coerente com se pensamento, não modificando-o num passe de mágica. Surgiu um problema e ele estava procurando explicações, sendo logicamente influenciado por suas antigas concepções. (MARTINS, 1997, capítulo 1, p. 35)

O grupo liderado por Morgan continuou os trabalhos com os cruzamentos controlados das moscas drosófilas e ainda em 1910 novas mutações foram descobertas, analisadas e associadas ao sexo. Inicialmente teve-se a descoberta de nova coloração de corpo (amarelo para mutante e marrom para selvagem), depois o tamanho das asas (asa curtas ou vestigiais para mutante e asas normais para selvagens). Logo perceberam que as associações entre os caracteres e o sexo não eram sempre completas, e que ocorriam recombinações em diferentes frequências quando comparadas entre si, porém, as recombinações de caráter específico eram sempre na mesma frequência. Segundo Allen (1975 e 1978), resultados semelhantes já haviam sido obtidos pelo grupo de pesquisa liderado pelo inglês William Bateson, que apesar de conhecerem mais a respeito dos processos citológicos e alterações dos cromossomos nos núcleos celulares, acabaram não relacionando a herança desse tipo de característica aos cromossomos, lançando mão de outras hipóteses científicas que futuramente se mostram inconsistentes (MARTINS, 1997 e 2002a).

Com as recorrentes descobertas de mutações em drosófilas, sempre sendo avaliadas quanto à relação como o sexo e associação com outros caracteres, Morgan passou a interpretar os fatores hereditários como sendo estruturas presentes nos cromossomos e diretamente responsáveis pela herança biológica. Assim, apresentou nova hipótese sobre a associação dos olhos brancos aos cromossomos sexuais. Tratou-se, portanto, de um momento em que o pesquisador passou a aceitar o mendelismo e a hipótese cromossômica defendida por Sutton e Boveri, mudando em grande parte seu posicionamento científico e adotando tais conceitos na fundamentação de suas análises. A partir daí, Morgan e seu grupo de pesquisa passaram a estabelecer o trabalho com as drosófilas em um programa de pesquisa (KHÖLER, 1993; MARTINS, 1997).

A explicação para as questões genéticas de recombinação descritas anteriormente contou com a colaboração de trabalhos citológicos. Em 1909, Franz A. Janssens (1863-1924) estudou gametogênese em salamandras e percebeu

cromossomos homólogos entrelaçados em algumas regiões durante fase inicial de divisão celular. Chamou tais regiões de “quiasmas” e sugeriu que ali houvesse troca de material (DURBANO, 2017). A partir dessa ideia, Morgan admitiu que os fatores hereditários estariam dispostos linearmente ao longo dos cromossomos e concluiu que a distância entre esses fatores estaria diretamente relacionada à probabilidade de recombinação. Regiões mais distantes teriam maior possiblidade de serem trocadas do que regiões mais próximas. Com isso, estabeleceu uma “força de ligação” entre os fatores e, consequentemente, aos caracteres, como também, possibilitou a compreensão sobre o fato de algumas características se apresentarem associadas e outras não. Esse mecanismo citológico auxiliou na compreensão sobre desvios em relação às razões mendeliana (KHÖLER, 1993; MARTINS, 1997).

Entre 1911 e 1915, o grupo de Morgan identificou mais mutações nas moscas drosófilas e organizaram-nas em “grupos de ligação”, pois perceberam que elas eram transmitidas hereditariamente de forma conjunta. A partir de novos cruzamentos controlados, a correlação entre os grupos de ligação e a força de ligação entre os fatores desses grupos, permitiram a proposição de um modelo teórico para a determinação relativa da posição dos fatores ao longo dos cromossomos. Estava proposta, então, a fundamentação para a criação dos primeiros mapas cromossômicos. A primeira proposta foi feita por Sturtevant envolvendo 5 (cinco) caracteres ligados o sexo em drosófila. Foi ele também a fazer as primeiras críticas ao modelo: (i) eles admitiam que todas as regiões do cromossomo apresentavam as mesmas chances de sofrerem as trocas, mesmo sem comprovação experimental; (ii) entendia ser uma medição indireta e que frequentemente apresentava alterações por erros estatísticos nas análises dos cruzamentos; e (iii) o mapa cromossômico foi concebido a partir de modelos mentais, permitindo questionamentos à fundamentação da técnica. (ALLEN, 1975 e 1978; MARTINS, 1997) É interessante perceber que a representação por modelo mental (abstração) já ocorre desde a proposição inicial do conceito científico.

Finalmente em 1915, Morgan publicou, em parceria com seus orientados (Sturtevant, Bridges e Muller), sua obra de referência, *The Mechanism fo Mendelian heredity*, pela qual apresentou à comunidade científica todos os principais conceitos e avanços científicos provenientes de seu programa de pesquisas envolvendo as drosófilas, até então:

- Os genes (como viria a conceituar futuramente) estão arranjados linearmente nos cromossomos e isso permite considerar os princípios fundamentais mendelianos como sendo baseados em eventos observáveis das células;
- A hereditariedade poderia ser tratada quantitativamente;
- Foram apresentadas evidencias embriológicas e citológicas da TCH;
- A troca de material entre cromossomos homólogos durante a gametogênese, explica a ocorrência de mais fatores hereditários do que a quantidade de cromossomos nas células.
- A determinação sexual em drosófila depende do número de cromossomos X presentes no núcleo.

Após 1925, Morgan retomou pesquisas com hereditariedade, regeneração e embriologia, muito presentes no início de sua carreira. No ano seguinte, publicou *The theory of the gene*, por meio do qual estabeleceu as bases da Genética moderna, a partir de pesquisas experimentais e enfocada no estudo sobre a distribuição de unidades genéticas (os genes) ao longo das gerações. Por meio dessa teoria, estabeleceu a relação dos caracteres biológicos com a ocorrência de parres de genes presentes no material germinativo. Apontou que, tal qual proposto por Mendel, esses pares gênicos são separados durante a meiose para a formação dos gametas, sendo que os diferentes grupos de ligação o fazem de forma independente. Estabeleceu que frequentemente ocorrem permutas entre os genes presentes no mesmo grupo de ligação (*crossing-over*), que se dispõem linearmente ao longo dos cromossomos. Por fim, apontou que a teoria do gene permite o tratamento numérico sobre a herança, possibilitando previsões quanto a distribuição dos caracteres após cruzamentos (STURTEVAN, 1965; MARTINS, 1997).

Pelos trabalhos envolvendo a comprovação da TCH, Thomas Morgan, Calvin Bridges e Alfred Sturtevant foram laureados com o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina, em 1933. É importante que se perceba a relevância não somente das pesquisas científicas, mas também do contexto em que elas se deram. Os posicionamentos de Morgan, bem como algumas de suas relações profissionais e pessoais, refletem aspectos muito importantes na construção da Ciência, principalmente em termos didáticos.

Sobre sua mudança de posicionamento “brusca” quanto ao mendelismo e à hipótese cromossômica da herança, ocorrida entre 1910 e 1911, encontra-se referências atribuindo tal fato a um certo pragmatismo científico de Morgan, em vista de sua formação empirista, que o levou qualificar aquelas ideias como especulativas e somente passou a adotá-las diante das evidências experimentais que surgiram posteriormente (ALLEN, 1975). Porém, Martins (1997 e 1998) aponta que tal mudança de posicionamento não se explica em termos conceituais, visto que grande parte das questões que o faziam ser crítico a aquelas propostas, não foram respondidas de consistente pelos experimentos realizados pela comunidade científica até então. A autora reforça que no mesmo ano de 1910 que Morgan publicou ou primeiro trabalho com drosófilas, adotando a nomenclatura de fatores, também produziu textos criticando a abordagem mendeliana e a hipótese cromossômica.

Em vista disso, a autora propõe que a opção de Morgan por mudar de postura se deveu a uma estratégia profissional. Para ela, o pesquisador já havia trabalhado com diferentes linhas de pesquisa e modelos experimentais, sem conseguir firmar-se de forma consistente como pesquisador. Ao enfocar a genética da transmissão ou invés da genética do desenvolvimento, ele passou a estabelecer um novo campo de pesquisa que pudesse lhe ser mais produtivo, tanto em termos de publicações como de investimento por parte de órgãos de fomento. Sobrei isso, Martins apontou:

> Ao mudar o teor de sua pesquisa da embriologia para a transmissão de característica, Morgan teve a oportunidade de criar uma nova ciência, que além de ter utilidades práticas para a agricultura e criação, tinha a chance de se tornar uma disciplina acadêmica respeitada. Para tanto, ele precisava de uma inovação teórica que, ao mesmo tempo sustentasse o programa de pesquisa principal e permitisse que este fosse considerado como uma única fonte de informações novas no campo *(ver BOWLER, The Mendelian Revolution, p. 133).* (MARTINS, 1998, p.199)

4.5 O estabelecimento da espécie *Drosophila melanogaster* como modelo experimental em Genética.

Desde o início da década de 1900, a espécie *Drosophila melanogaster* foi usada como modelo experimental em pesquisas que geraram grandes avanços em Genética e Biologia Molecular, ajudando inclusive, a compor o contexto histórico de constituição dessas áreas do conhecimento. Tem-se como exemplos alguns trabalhos realizados com aquela espécie que marcaram a História da Ciência, além de

renderem importantes premiações a seus(as) responsáveis. Em 1933, Thomas H. Morgan foi laureado com o prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina por coordenar pesquisas sobre a relação entre cromossomos e hereditariedade. Em 1946, Hermann Muller (1890–1967) recebeu o mesmo prêmio por conta de suas investigações a respeito da indução de mutações por exposição a raios-X. Quase 50 (cinquenta) anos depois, em 1995, Edward Lewis (1918–2004), Christiane Nüsslein-Volhard (1942) e Eric Wieschaus (1947) receberam o prêmio Nobel de Medicina devido às suas pesquisas sobre o controle genético do desenvolvimento embrionário e em 2011, Jules Hoffman (1941) foi agraciado com o mesmo prêmio por suas descobertas em relação ao sistema imunológico daquelas moscas (MARKOW, 2015).

O sucesso daquela espécie como modelo experimental no campo das Ciências Biológicas é realmente inquestionável e isso certamente se deveu a diversos fatores da própria biologia do grupo animal, como também, pela forma como essas moscas foram aproveitadas pelos(as) cientistas ao longo de mais de cem anos de pesquisas. Deve-se, portanto, conhecer os caminhos e as circunstâncias que levaram à inserção tão profícua dessa espécie aos laboratórios de pesquisa por todo o mundo (SEPEL & LORETO, 2010).

Em artigo publicado no *Journal of the History of Biology*, em 1993 (*A Life in the Laboratory*), Robert Köhler apresentou uma interessante discussão sobre aspectos históricos e biológicos envolvidos com o sucesso das drosófilas como modelo experimental em pesquisas genéticas. Em uma das sessões desse trabalho o autor apresentou aspectos sobre o contexto que levou cientistas da área biológica a buscarem metodologias e modelos experimentais diversos. Segundo o autor, esse movimento ocorreu na comunidade científica europeia e, sobretudo, nos Estados Unidos da América, entre o final do século XIX e início do século XX e foi caracterizado como a expansão da Biologia experimental. Esse movimento dividiu a área em subáreas (ou disciplinas) diferentes, a saber: Fisiologia geral, Comportamento animal, Hereditariedade, Evolução e Embriologia experimentais, Ecologia, entre outras. Essas “novas áreas” (à época) passaram a integrar os cursos de formação profissional, substituindo a formação em História Natural, de tal forma que a experimentação passou a ser recurso padrão na prática científica a partir daquela geração de pesquisadores.

Essa mudança estrutural no campo das Ciências Biológicas acarretou aumento na diversidade de técnicas experimentais, em consonância e dependência dos avanços tecnológicos, e no número de espécies biológica utilizadas como modelos experimentais. A título de definição, tem-se:

> A designação “organismo modelo” se aplica às espécies que são utilizadas para investigar um problema particular e produzem resultados que não se aplicam apenas àquele grupo em estudo, mas a várias outras espécies. Dependendo do tipo de pesquisa, as conclusões obtidas a partir de um organismo-modelo podem ser estendidas a várias espécies, ou a todas, sendo consideradas conclusões “universais” (SEPEL & LORETO, 2010, p 42)

Ainda de acordo com Köhler (1993), a especialização dos campos de pesquisa levou a comunidade científica a buscar características em seus modelos que contemplassem a particularidade de suas investigações. A inexistência de espécies padronizadas como modelos experimentais levou pesquisadores(as) a buscarem e testarem diversas espécies animais e vegetais. Essa busca, que envolve habilidades e conhecimentos específicos dentro das áreas de interesse, se tornou uma forma dos “experimentalistas” da época dominarem certas linhas de pesquisa. Nesse sentido, aqueles(as) que pesquisavam hereditariedade e evolução foram muito ativos(as) na busca por modelos devido ao interesse por encontrar “variações”. Havia nesse contexto pessoas que criavam (cultivavam) e promoviam cruzamentos controlados. Esse grupo foi tão ativo na busca por novos modelos quanto os(as) experimentalistas. Com a “redescoberta” dos trabalhos de Mendel, as criações mantidas artificialmente favoreceram os experimentos, tendo-se em vista a preservação de linhagens selecionadas artificialmente para contemplarem interesses humanos específicos (KHÖLER, 1993; MARTINS, 2002b)

Sobre a adaptação de espécies biológicas às condições laboratoriais para pesquisa, Köhler (1993) aponta que tais grupos apresentam dinâmicas de variação, seleção e adaptação peculiares. Diferentemente de outras espécies utilizadas como modelos experimentais que já eram domesticadas, as moscas drosófilas não eram. Quando passaram a ser cultivadas e utilizadas em laboratórios de pesquisa, mudaram de “ecossistema” e encontraram diferentes condições de sobrevivência, assim, pode-se dizer a essas moscas foram “reconstruídas” em função do trabalho experimental. Mesmo sob todo esse controle seletivo, apresentaram variações e essas surpreenderam os cultivadores. Inicialmente, foram introduzidas aos laboratórios

devido a algumas características biológicas favoráveis às pesquisas sobre Evolução experimental, como: (i) animais muito acessíveis visto sua adaptação a ambientes alterados pelos seres humanos, tem termos de pastagens, cultivo de vegetais, confinamento de animais, entre outros; (ii) seus ciclos reprodutivos são bastante curtos, variando entre 10 (dez) dias e 3 (três) semanas, possibilitando muitas gerações em tempo curto; (iii) eficiência reprodutiva quanto ao número de descendentes, com média de descendentes por evento reprodutivo variando entre 100 (cem) e 400 (quatrocentos) indivíduos; (iv) descobriu-se, posteriormente às primeiras pesquisas, que a espécie apresenta poucos grupos cromossômicos, visto como vantagem em termos de trabalhos pioneiros (KHÖLER, 1993; MARTINS, 2002b).

Apesar das vantagens citadas, Köhler (1993) relata também sobre desvantagens relacionadas às drosófilas, em termos de material para pesquisa. Em comparação com outras espécies que no final do século XIX era mais amplamente utilizadas como modelos experimentais, as drosófilas apresentavam poucas características discretas (descontínuas) e visíveis, ao contrário da cor de pelos em ratos, ou da textura de sementes nas ervilhas. Também havia pouca identificação de variantes por parte dos criadores. Em termos de contexto social, naquele período não havia prestígio acadêmico em se trabalhar com moscas. Ainda assim, cientistas não mendelianos optaram pelas drosófilas para realizarem experimentos biometristas, com análises quantitativas e estatísticas sobre taxas de fecundidade, sobrevivência e padrões de crescimento. Havia também evolucionistas interessados em pesquisar se as características biológicas seriam herdáveis ou determinadas por fatores ambientais, algo que se caracterizava como problema de pesquisa relevante na época (KHÖLER, 1993; MARTINS, 2002b).

Ao se investigar sobre o histórico da utilização de drosófilas como modelos experimentais, tem-se como consenso que Morgan, apesar de ser tomado como referência por conta de seus trabalhos com aquelas moscas, não foi o primeiro pesquisador a utilizá-las ou padronizar seus trabalhos a partir delas. Por outro lado, não são encontradas informações consensuais sobre qual seria, de fato, a primeira pesquisa com drosófilas, seja em relação à hereditariedade, seja em trabalhos experimentais de Evolução, ou mesmo em pesquisas citológicas. As fontes também não convergem sobre como se deu o contato de Morgan com aquele modelo

experimental. A seguir, apresenta-se alguns apontamentos a partir do que se pode levantar junto às fontes pesquisadas (ALLEN, 1975; MARTINS, 2002b).

No sexto capítulo de sua obra *A history fo genetics,* Sturtevant (1965) dedica apenas dois parágrafos sobre o início dos trabalhos com drosófilas. Ele reporta sobre a descrição da espécie, atribuída ao entomólogo alemão Johann Wilhelm Meigen (1764-1845) no ano de 1830, e provável chegada da espécie aos Estados Unidos da América na década de 1870, devido à cultura de bananas. Segundo aquela referência, a primeira pessoa a cultivar drosófilas em laboratório foi provavelmente o entomólogo Charles William Woodworth (1865-1942), por volta de 1900, com o objetivo de realizar pesquisas embriológicas. Aqui apresenta-se um primeiro ponto de incerteza, visto que Woodworth fazia parte de um grupo de pesquisas orientado por William E. Castle (1867-1962) em Harvard e nesse grupo houve outros membros que também utilizaram drosófilas.

Castle havia trabalhado com Embriologia, mas com a redescoberta dos trabalhos de Mendel naquele início de século, passou a se interessar por Evolução e hereditariedade, promovendo cruzamentos controlados em drosófilas, a fim de pesquisar sobre endogamia. Algumas referências apontam que foi através desse núcleo de pesquisadores orientados por Castle que Morgan veio a ter os primeiros contatos com drosófilas (ALLEN, 1975; MARTINS, 2002). Outro orientado de Castle que trabalhou com essas moscas foi Frederic W. Carpenter (1876-1925), que em 1905 publicou um artigo[33] sobre respostas fisiológicas dos insetos a partir de estímulos luminosos e mecânicos. Segundo Allen (1975), esse trabalho foi a primeira publicação científica envolvendo experimentos com moscas drosófilas. Também segundo esse autor, o primeiro trabalho [34]sobre hereditariedade envolvendo as moscas foi publicado pelo grupo de Castle em 1906, no qual foram apresentados resultados dos cruzamentos endogâmicos controlados por eles.

Além dos orientados, Castle incentivou outros colegas pesquisadores a também trabalharem com cruzamentos controlados de drosófilas. Um deles foi William J. Moenkhaus (1871-1947), que havia trabalhado com Castle em Harvard e promoveu cruzamentos para investigar sobre determinação sexual nas moscas. Outro exemplo

[33] Carpenter, Frederic W. “The Reactions of the Pomace Fly (Drosophila Ampelophila Loew) to Light, Gravity, and Mechanical Stimulation.” *The American Naturalist*, vol. 39, no. 459, 1905, pp. 157–71. *JSTOR*,
[34] CASTLE, W.E.: "Inbreeding, Cross-breeding and Sterility in Drosophila," Science, 1906, 23:153.

foram as pesquisas realizadas por Franke E. Lutz (1879-1943) no *Cold Spring Harbor* (Nova York), entre 1904 e 1909, sobre hereditariedade e seleção sexual em drosófilas. Interessado pelas pesquisas de Castle sobre endogamia, Lutz recebeu parte do estoque de moscas cultivadas pelo colega, ao longo de mais de 20 (vinte) gerações. Algumas referências indicam que foi parte desse estoque que Lutz enviou a Morgan, promovendo o primeiro contato dele com as moscas-das-frutas (ALLEN, 1975, KÖHLER, 1993, MARTINS, 1997 e 2002).

Apesar disso, existem alguns registros que revelam o contato de Morgan com as drosófilas pelo menos desde 1907. Segundo Allen (1975), o próprio Morgan relatou em 1908 sobre trabalhos desenvolvidos por alguns dos seus orientados, envolvendo centrifugação de ovos de drosófilas durante a realização de pesquisas embriológicas. Outro contato importante do pesquisado foi com sua antiga aluna Nettie Maria Stevens (1861-1912), que em 1905 realizou diversos estudos citológicos por conta de suas investigações a respeito de cromossomos sexuais em insetos, sendo *D. melanogaster* uma das espécies utilizadas por ela. Morgan deixou a instituição em que trabalhou com Stevens no ano anterior, porém, devido ao seu interesse pelas pesquisas da antiga aluna, manteve-se informado a respeito da produção científica naquela área. Em 1907, por exemplo, esteve presente no Congresso de Zoologia de Boston, no qual Stevens apresentou alguns de seus trabalhos.

Outro registro importante refere-se ao trabalho de Fernandus Payne (1881–1977), desenvolvido sob orientação de Morgan na Universidade de Columbia. Segundo Sturtevant (1959) e Köhler (1993), quando Payne ingressou naquela universidade como estudante de pós-graduação, envolveu-se em um projeto para estudar a transmissão de características adquiridas via estímulos ambientais. Payne já havia estudado sobre regressão de olhos em peixes cavernícolas na Universidade de Indiana, onde graduou-se e também teve contato com os trabalhos de W. J. Moenkhaus com drosófilas. Morgan sugeriu a ele que utilizasse as moscas naquele projeto, não apenas por sua expertise, mas também pelo fato de ser uma pesquisa sobre seleção natural. De acordo com Morgan, se Payne coletasse amostras selvagens diretamente do ambiente natural teria um material de pesquisa mais fidedigno em vista de seus objetivos, e assim, o estudante prontamente acatou a sugestão. De acordo com Allen (1975), o próprio Payne relatou em correspondência a Sturtevant que utilizou bananas presas nas janelas do laboratório para capturar as

moscas. Após gerar 49 (quarenta e nove) gerações por cruzamentos controlado e não obter qualquer resultado conforme esperava, Payne passou a trabalhar com induções a mutações (segundo De Vries) por meio de agentes e físicos a até raios-x. Após 1909, ele deixou o laboratório de Morgan e passou a trabalhar sob orientação de Wilson com citologia em insetos.

Portanto, Allen (1975) apontou 3 (três) possíveis versões para os primeiros contatos de Morgan com as drosófilas e seus comentários a respeito delas. Segundo ele, a primeira seria a obtenção direta através de Castle que à época utilizava as moscas em pesquisas com cruzamentos controlados. Essa versão seria pouco provável, visto que não existem comprovações independentes a respeito dela. A segunda seria a hipótese dele o próprio Morgan ter coletado seus primeiros exemplares diretamente do ambiente, com a ajuda de Payne, ou ainda, que tivesse utilizado os estoques criados por seu orientado. Essa versão é mais provável que a anterior, porém, em correspondência a Sturtevant, Payne afirmam não se lembrar se seu orientador coletou ou solicitou doação de moscas para utilizar em suas pesquisas. Por fim, a terceira versão é a apresentada pelo próprio Morgan sobre ele ter recebido linhagens puras criadas por Franke E. Lutz em 1909. Allen (1975) apresentou trecho escrito pelo próprio Morgan em sua publicação[35] *Genesis of the White-Eyed Mutant,* de 1942:

> Pareceu-me que *Drosophila ampelophilam* (atualmente *D. melanogaster*) pode fornecer excelente material para trabalho genético, uma vez que poderia ser criada em laboratório de maneira fácil e barata. Eu sabia que Lutz estava criando essas moscas e pedi que ele me desse uma e ele gentilmente o fez. (MORGAN, 1942, p. 92 *apud* ALLEN, 1975, p. 331 – *tradução livre*)

Allen (1975) estimou que primeiramente Morgan obteve suas amostras da natureza, porém, devido ao seu interesse posterior por pesquisas sobre hereditariedade e mutações (segundo De Vries), passou a usar a cultura doada por Lutz, tendo-se em vista a maior dificuldade que um material geneticamente heterogêneo oferece a esse tipo de trabalho. Assim, houve considerável vantagem, do ponto de vista experimental, utilizar material biológico endogâmico na busca de mutações recém-surgidas.

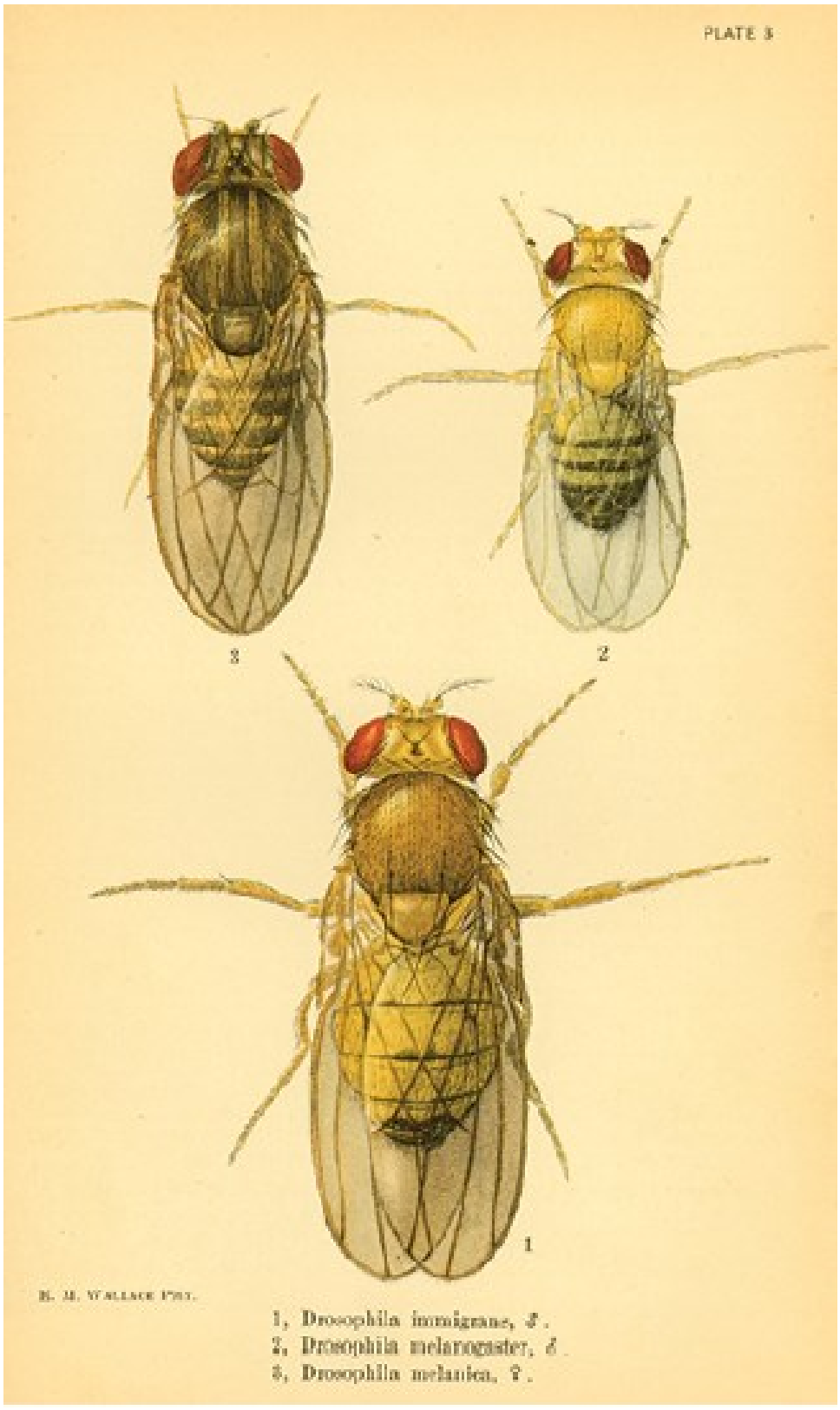
[35] MORGAN, T. H. Genesis of the white-eyed mutant. **Journal of Heredity**, v. 33, n. 3, p. 91-92, 1942.

Como conclui Martins (2002b), a introdução das drosófilas como modelo experimental em laboratórios de pesquisa a partir de 1900 se deu por pesquisas envolvendo Evolução, Embriologia e Citologia, e os trabalhos sobre hereditariedade e Genética foram posteriores. Portanto, outros(as) pesquisadores(as) já haviam cultivado e estudado sobre aquelas moscas antes de Morgan realizar seus primeiros experimentos com cruzamentos controlados. Suas buscas pelas mutações (segundo De Vries) em animais o fizeram buscar diferentes espécies para utilização como modelo experimental, até que as drosófilas se mostraram muito adequadas tendo-se em vista as vantagens citadas anteriormente nesta pesquisa, como fácil acesso diretamente do ambiente, financeiramente mais baratas para cultivar, curto tempo de geração, eficiência reprodutiva, entre outras.

Portanto, ao contrário daquilo que se tem como “opinião comum”, Morgan não buscou diretamente as drosófilas para realizar experimentos com o objetivo de testar os princípios mendelianos. Após uma gama de circunstâncias, como aqui relatado, envolvendo diversos membros da comunidade científica suas variadas expertises, o descobrimento da variante de olhos brancos entre as culturas de Morgan fez com que um novo olhar fosse lançado tanto para as drosófilas, como para as pesquisas sobre hereditariedade. Essa mudança somente foi possível por conta do trabalho coletivo envolvendo aqueles insetos e não por atitudes pontuais e individuais. Sobre o “mito” de que a Ciência é movida apenas pelas ações de gênios solitários, Allen afirma:

> O perigo não reside em superestimar a genialidade de um ou dois, mas sim em subestimar a genialidade de muitos. (ALLEN, 1975, p. 333 – *tradução livre*)

Figura 3: Ilustrações de moscas drosófilas (*Drosophila sp*) feitas por Edith M. Wallace (1881–1964), publicadas em 1921 pelo Carnegie Institution of Science. (1) Indivíduo macho de *D. immigrans*; (2) Indivíduo macho de *D. melanogaster*; (3) indivíduo fêmea de *D. melanica*.



Fonte: Endeavors magazine (2009) Disponível em https://endeavors.unc.edu/spr2009/endview.php . Acesso dia 12/07/2024.

CAPÍTULO 5:

Estratégias didáticas para ensino de conceitos estruturais em Genética e NdC, por meio da HC: sugestões a partir da literatura científica e da experiência docente.

Em relação às estratégias didáticas e em acordo com sua argumentação anteriormente apresentada, Martins (2015a) fundamentou-se em Clough (2007) para sugerir que o ensino de NdC a partir de *"princípios"* apontados pela VC poderia apresentar distorções tais, que acarretariam a abordagem dos conteúdos como sendo listas de informações a serem transmitidas ao invés de discutidas. Ainda, em acordo com Allchin (2011[36] e 2012[37] *apud* MARTINS, 2015a), esse tipo de abordagem pouco considera as relações sociais dos cientistas, a credibilidade das pesquisas, o trabalho de revisão por pares, as fraudes científicas, entre outros fatores que envolvem a confiabilidade na prática científica. Por essas razões, esses autores defendem a proposta de que o ensino de NdC deve ocorrer por meio de "*questões*" (CLOUGH, 2007[38] *apud* MARTINS, 2015a).

Em sua proposta sobre utilização de questões para o ensino de NdC, Martins (2015a) propôs também que essas fossem organizadas a partir de "temas", os quais o autor organizou a partir de "*eixos para discussão de NdC*", fundamentados no ("clássico") trabalho de Driver e colaboradores (1996[39] *apud* MARTINS, 2015a).

---

[36] ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (Whole) Science. Science Education, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011.

[37] ALLCHIN, D. Toward clarity on Whole Science and KNOWS. Science Education, v. 96, n. 4, p. 693-700, 2012.

[38] CLOUGH, M. P. Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: questions rather than tenets. The Pantaneto Forum, 25, 2007.

[39] DRIVER, R. H.; LEACH, J.; MILLAR, R.; SCOTT, P. Young people's images of science. Buckingham: Open University Press, 1996.

Assim, esse autor apresenta as definições dos eixos *"sociológico e histórico"* e *"epistemológico"* da seguinte maneira:

> O primeiro eixo ***[sociológico e histórico]*** agruparia temas relativos ao papel do indivíduo e da comunidade científica; a intersubjetividade; questões morais, éticas e políticas; influências históricas e sociais; ciência como parte da cultura; comunicação do conhecimento. O segundo eixo ***[epistemológico]***, mais amplo, agruparia temas relativos à origem do conhecimento (experiência x razão; papel da observação, da experiência, da lógica e do pensamento teórico; influência da teoria sobre o experimento), aos métodos, práticas, procedimentos e processos da ciência (coleta, análise e avaliação de dados; inferência, correlação e causalidade; modelagem em ciência; papel da imaginação e criatividade; natureza da explicação), e ao conteúdo/natureza do conhecimento produzido (papel de leis e teorias; noção de modelo; semelhanças e diferenças entre ciência e outras formas de conhecimento) (MARTINS, 2015a, p. 718, grifo meu).

Definidos os eixos para discussão de NdC, o autor apresentou um quadro com os temas de NdC categorizados de acordo com os eixos (Quadro 2). O eixo epistemológico foi subdividido em 3 (três) "subeixos", a saber: (a) *Problema da origem do conhecimento científico*; (b) *Métodos, procedimentos e processos da Ciência*; e (c) *Conteúdo / natureza do conhecimento produzido*. Feitas as definições e considerações sobre os temas e alguns aspectos mais detalhados desses, Martins (2015a) apresentou exemplos de questões a serem usadas no ensino de NdC, classificadas a partir da metodologia proposta.

Quadro 2: Eixos para discussão de conteúdos de NdC e exemplos de temas.

Eixo sociológico e histórico	*Eixo epistemológico*		
	Problema da origem do conhecimento (científico)	Métodos, procedimentos e processos da ciência	Conteúdo / natureza do conhecimento produzido
• Papel dos indivíduos/sujeitos e da comunidade científica • Intersubjetividade • Influências históricas e sociais • Questões morais, éticas e políticas • A ciência como parte de uma cultura mais ampla • Objetivos da ciência / objetivos dos cientistas • Comunicação do conhecimento científico dentro da comunidade científica e em domínio público • Controvérsias históricas e contemporâneas na ciência • Ciência e outros tipos de conhecimento • Ciência e tecnologia • *{Diferenças entre as áreas / disciplinas científicas}*	• Sujeito(s) e objeto(s) do conhecimento científico • Empírico vs. teórico • Papel da observação, experimentação, lógica, argumentos racionais e pensamento teórico • Influências teóricas sobre observações e experiências • Ciência e outros tipos de conhecimento • *{Diferenças entre as áreas / disciplinas científicas}*	• Coleta, interpretação, análise e avaliação dos dados • Modelagem • Observação e inferência • Hipóteses, previsões e testes • Correlação e causalidade • Natureza da explicação em ciência • Avaliação de teorias • Papel das analogias, imaginação e criatividade • Visão do senso comum sobre o método científico (sequência passo-a-passo) • Ciência e outros tipos de conhecimento • *{Diferenças entre as áreas / disciplinas científicas}*	• Leis e teorias • Postulados • Noção de modelo científico • Papel da Matemática • Poder e limitações do conhecimento científico • Ciência e outros tipos de conhecimento • Ciência e tecnologia • *{Diferenças entre as áreas / disciplinas científicas}*

Fonte: MARTINS, A. F. P.: Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em "temas" e "questões". Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015 (a)

Ao analisar a metodologia proposta, Martins (2015a) indica possibilidades de contribuições ao seu trabalho, a partir adaptações dos temas e questões a temáticas relativas ao ensino da NdC. O trecho a seguir exemplifica:

> Um passo posterior para o desenvolvimento futuro dessa abordagem envolveria pensar em como articular temas e questões com conteúdos específicos. Esse passo representa **um importante esforço na elaboração prática de currículos que incorporem a temática NdC** [...]. É importante dizer, no entanto, que um duplo movimento, de ir-e-vir, entre o conteúdo específico e o conteúdo metacientífico (representado pelos temas) a serem ensinados ajuda a pensar no desenvolvimento futuro dessa proposta e nas escolhas a serem feitas (MARTINS, 2015, p. 725, grifo meu).

Tendo-se em vista os objetivos desta tese quanto à proposição de material didático para ensino da NdC a partir de episódios da HC, buscou-se na metodologia de Martins (2015a) a referência que qualificasse esta proposta de tal maneira, conforme discutido pelo autor. Assim, o Quadro 4.2 a seguir apresenta sugestões de questões relativas à temática em questão nesta tese *(a constituição de Drosophila melanogaster como organismo modelo, a partir das pesquisas sobre hereditariedade realizadas no início do século XX)*, classificadas de acordo com os eixos e temas propostos por Martins (2015a), em vista de suas definições.

5.1 Questões contextualizadas para o ensino de NdC a partir de episódios da HC.

Em vista da fundamentação apresentada sobre a proposição do Quadro 3 tem-se nesse conjunto de questões a possiblidade de utilização como recurso didático. A partir dessas questões, professores(as) podem adaptar atividades didáticas que embasem discussões e debates sobre os temas em questão, podem fundamentar o planejamento das aulas e apresentações de conteúdos, podem ser utilizadas como temas de pesquisas a serem solicitadas aos(às) estudantes, como também, podem compor o conjunto de recursos didáticos a serem utilizados de diferentes formas, por meio de atividades didáticas sobre o tema. É o que se propõe nesta tese. Além da simples utilização das questões de acordo com a livre adaptação dos(as) professores(as), sugestões feitas a seguir envolverão algumas dessas questões, em vista dos objetivos específicos de cada proposta. O quadro apresenta um código de cores para orientar o(a) leitor(a) quanto à divisão dos temas entre os eixos para discussão da NdC.

Quadro 3: Sugestões de questões relativas à temática em questão nesta tese, categorizadas em eixos, subeixos e temas.

Eixo: Sociológico e Histórico (SH)	Tema 1: Papel do indivíduo	Código de cor: vermelho
SH 1.1 Morgan foi o responsável pela "descoberta" das drosófilas como organismo modelo? **SH 1.2** O grupo de Morgan foi o primeiro a utilizar drosófilas em pesquisas envolvendo hereditariedade? **SH 1.3** Quais pesquisadores já realizavam trabalhos de pesquisa com drosófilas envolvendo hereditariedade? **SH 1.4** Quais as colaborações de Bridges, Sturtevant e Miller para a TCH? **SH 1.5** Bridges, Sturtevant e Miller foram os únicos orientados de Morgan a contribuíram com o trabalho sobre TCH envolvendo drosófilas? **SH 1.6** Por que as pesquisas citológicas com drosófilas, que elucidaram sobre os mecanismos de linkage e crossing-over, foram importantes para a corroboração da TCH? Quais pesquisadores(as) se envolveram diretamente nessas pesquisas? **SH 1.7** Como os trabalhos de Mendel influenciaram as pesquisas sobre hereditariedade realizadas com drosófilas no início do século XX?		
Eixo: Sociológico e Histórico (SH)	**Tema 2: Intersubjetividade**	**Código de cor: vermelho**
SH 2.1 Quais eram as críticas feitas por Morgan às propostas mendelianas, durante a primeira década do século XX? **SH 2.2** Em vista dessas críticas, é possível afirmar que os primeiros resultados dos experimentos com drosófila eram condizentes com a mudança de opinião de Morgan sobre os fatores mendelianos? **SH 2.3** Que tipo de subjetividade presente nas primeiras propostas sobre mapas cromossômicos levaram William Bateson a apresentar críticas a esses trabalhos? **SH 2.4** Como os trabalhos de Hugo De Vries influenciaram as pesquisas de Thomas Morgan? **SH 2.5** Como ocorreu a descoberta da "mosca white"? **SH 2.6** Qual foi a importância dessa descoberta para as pesquisas sobre hereditariedade envolvendo drosófilas?		
Eixo: Sociológico e Histórico (SH)	**Tema 3: Influência histórica e social**	**Código de cor: vermelho**
SH 3.1 Qual a relação entre a constituição das drosófilas como organismo modelo e a consolidação da Biologia enquanto Ciência positiva? **SH 3.2** Como o desenvolvimento da Física e da Química ao longo do século XIX se relaciona com a "busca" por organismos modelos como drosófilas, pelos naturalistas do mesmo período? **SH 3.3** Como o avanço tecnológico e científico em microscopia e Biologia celular se relaciona com as primeiras pesquisas sobre hereditariedade envolvendo drosófilas?		

Eixo: Sociológico e Histórico (SH)	Tema 4: Questões morais, ética e políticas	Código de cor: vermelho

SH 4.1 Assim como grande parte dos cientistas de seu tempo, Thomas Morgan trabalhou com inúmeras espécies animais ao longo de sua carreira. Sua escolha por drosófilas foi antecedida pela tentativa em realizar tais pesquisas utilizando coelhos e outras espécies mais comuns no meio acadêmico da época. Explique a razão pela qual Morgan não conseguiu realizar suas pesquisas por meio de cruzamentos entre coelhos e como isso se relacionou com sua opção por drosófilas.

SH 4.2 Como as pesquisas pioneiras sobre hereditariedade envolvendo drosófilas podem ser relacionadas ao movimento eugenista ocorrido no início do século XX? Quais foram as principais consequências sociais desse movimento?

SH 4.3 Como as pesquisas realizadas por Nettie Stevens colaboraram para a proposição da TCH e como influenciaram as primeiras pesquisas nesse campo envolvendo as drosófilas?

SH 4.4 Quais foram as contribuições do trabalho de Lilian Vaughan Morgan para a maior compreensão sobre a genética de drosófilas?

SH 4.5 Como os trabalhos de Barbara McClintock e Harriet Baldwin Creighton contribuíram para que em 1931 Curt Jacob Stern publicasse sua pesquisa sobre a comprovação citológica da ocorrência de crossing-over em drosófilas?

SH 4.6 Quantas mulheres havia no grupo inicial de pesquisadores e estudantes que formaram a “Fly room”, no início dos anos 1900?

SH 4.7 Quais as contribuições do trabalho conjunto entre Edith Saunders e William Bateson para a consolidação da TCH, tendo-se em vista o conceito de linkage?

Eixo: Sociológico e Histórico (SH)	Tema 5: Objetivos da Ciência e do cientista	Código de cor: vermelho

SH 5.1 Quais foram os objetivos científicos de Morgan ao adotar drosófilas como organismo modelo?

SH 5.2 Um dos primeiros trabalhos envolvendo utilização de drosófilas que Morgan teve relação foi a orientação de uma pesquisa realizada por um Fernadus Payne, um de seus estudantes em Columbia. Quais foram os objetivos (científicos e de realização) dessa pesquisa? Eles tinham relação direta com a TCH?

SH 5.3 Na primeira década do século XX, Thomas Morgan apresentava críticas à hipótese cromossômica e aos trabalhos de Mendel, que posteriormente passou a reconhecer e valorizar cientificamente. Quais as possíveis razões para tal “mudança de postura” do pesquisador?

SH 5.4 Quais foram os objetivos científicos de William Castle ao adotar drosófilas como organismo modelo?

SH 5.5 Quais foram os objetivos científicos de Frank Lutz ao adotar drosófilas como organismo modelo?

Eixo: Sociológico e Histórico (SH)	Tema 6: Comunicação na comunidade científica e domínio público	Código de cor: vermelho
SH 6.1 Como foram divulgados os resultados dos primeiros trabalhos envolvendo drosófilas e hereditariedade? **SH 6.2** Quem foram os autores e quais os anos em que esses trabalhos foram divulgados? **SH 6.3** Em qual idioma esses materiais foram produzidos e por que? **SH 6.4** Tendo-se em vista a influência dos trabalhos de Mendel na proposição da TCH, aponte qual foi a contribuição de William Bateson nesse aspecto?		
Eixo: Sociológico e Histórico (SH)	**Tema 7: Controvérsias históricas e contemporâneas na ciência.**	**Código de cor: vermelho**
SH 7.1 Quais as principais discordâncias entre os grupos de pesquisa liderados por William Bateson e Thomas Morgan, em relação à TCH e ao conceito de crossing-over? **SH 7.2** Quais os pontos discordantes entre as propostas apresentadas por Sturtevant e Miller sobre o crossing-over, em relação às propostas de Richard B. Golldschimdt? **SH 7.3** Quais eram as principais discordâncias entre os "geneticistas" (que trabalhavam com os cruzamentos controlados) e os biometristas no início do século XX?		
Eixo: Sociológico e Histórico (SH)	**Tema 8: Ciência e tecnologia.**	**Código de cor: vermelho**
SH 8.1 Qual a relação entre o desenvolvimento da microscopia (equipamentos e técnicas) e da Biologia celular ao longo do século XIX, e a proposição da TCH no início do século XX? **SH 8.2** Como eram as técnicas utilizadas no início do século XX para o cultivo e experimentação com as drosófilas? **SH 8.3** Essas técnicas foram desenvolvidas por Thomas Morgan? **SH. 8.4** Essas técnicas são usadas de forma idêntica atualmente nos laboratórios de pesquisas com drosófilas? **SH 8.5** Quais tipos de pesquisa se realiza atualmente com drosófilas? **SH 8.6** Quais avanços tecnológicos nas pesquisas envolvendo material genético, realizadas ao longo do século XX e neste início de século XXI, decorreram (direta ou indiretamente) da consolidação da TCH? **SH 8.7** O que são os mapas cromossômicos desenvolvidos a partir das pesquisas com drosófilas? **SH 8.8** Quais avanços científicos esses mapas possibilitaram no campo da Genética? **SH 8.9** A utilização da radiação em pesquisas científicas configurava-se como "tecnologia de ponta" no início do século XX. Como essa tecnologia se relacionou com as pesquisas sobre hereditariedade realizadas naquele período, envolvendo drosófilas?		

SH 8.10 Quais foram as influências das duas grandes guerras mundiais (1914 a 1918; 1939 a 1945) no campo científico da Genética, que se apresentava em constituição naquele período.

Eixo: Sociológico e Histórico (SH)	Tema 9: Diferenças entre as áreas / disciplinas científicas	Código de cor: vermelho

SH 9.1 As pesquisas sobre hereditariedade realizadas no início do século XX envolvendo drosófilas, integram-se a um cenário de transformação científica no campo da Biologia. Quais eram as diferenças entre as pesquisas científicas realizadas no campo da Química e da Física em períodos anteriores à segunda metade do século XIX, e aquelas no campo da Biologia?

SH 9.2 As pesquisas realizadas por hibridizadores do século XIX, que influenciaram diretamente os trabalhos com drosófila no início do século XX, assim como essas últimas, baseavam-se na análise de "variações" de características físicas observáveis nos organismos vivos. Como essa "propriedade" dos seres vivos diferencia as pesquisas biológicas das pesquisas no campo da Química e da Física?

Eixo: Epistemológico (E)	Subeixo: Problema de origem do conhecimento (a)	Tema 1: Sujeitos e objetos do conhecimento	Código de cor: azul

Ea 1.1 Quem é responsável por definir qual organismo modelo será utilizado em uma pesquisa?
Ea 1.2 Como se define qual espécie será utilizada em uma pesquisa científica?
Ea 1.3 Como as drosófilas foram escolhidas para serem organismo modelo nos experimentos envolvendo hereditariedade, realizados no início do século XX?
Ea 1.4 Outras espécies foram utilizadas em pesquisas da mesma natureza e realizadas no mesmo período?
Ea 1.5 Foram apenas os experimentos realizados com drosófila pelo grupo de pesquisa liderado por Thomas Morgan que consolidaram a TCH?
Ea 1.6 A quais instituições de pesquisa estavam vinculados(as) os(as) pesquisadores(as) que contribuíram para a proposição e consolidação da TCH?
Ea 1.7 Ao longo da história da Ciência, por 5 (cinco) vezes pesquisas realizadas com drosófilas foram laureadas com o importante prêmio Nobel (em diferentes categorias do mesmo). O que significa esse tipo de premiação para um trabalho científico e para a carreira do(a) cientista premiado(a)?

Eixo: Epistemológico (E)	Subeixo: Problema de origem do conhecimento (a)	Tema 2: Empírico x Teórico	Código de cor: azul

Ea 2.1 Qual a importância das pesquisas envolvendo estudos citológicos com material de drosófila para a consolidação da TCH?
Ea 2.2 Quais conhecimentos (conceitos) fundamentaram a interpretação dos resultados obtidos a partir dos primeiros cruzamentos feitos com drosófila pelo grupo de pesquisa liderado por Thomas Morgan?
Ea 2.3 Como pesquisas em Embriologia, Biologia celular e Evolução experimental influenciaram as pesquisas pioneiras no campo da Genética?
Ea 2.4 Como a TCH colaborou para o reconhecimento histórico dos trabalhos de Mendel?
Ea 2.5 Como a TCH influenciou novas interpretações dos princípios apresentados no século XIX por Charles Darwin e Alfred Wallace sobre adaptação e evolução dos seres vivos?
Ea 2.6 Foi a partir dos experimentos envolvendo drosófilas que a hipótese cromossômica da herança foi sugerida?

Ea 2.7 Como análises matemáticas e estatísticas colaboraram para a interpretação dos cruzamentos realizados com drosófila no início do século XX?

Ea 2.8 Qual teria sido uma possível interpretação para a ocorrência da "mosca white" se essa tivesse sido encontrado por Fernandus Payne, durante sua passagem pelo grupo de pesquisa liderado por Thomas Morgan?

Eixo: Epistemológico (E)	Subeixo: Problema de origem do conhecimento (a)	Tema 3: Papel da experimentação, observação, lógica, argumentação e pensamento teórico.	Código de cor: azul

Ea 3.1 Anteriormente à hipótese cromossômica da herança já haviam sido sugeridos alguns modelos teóricos sobre estruturas microscópicas relacionadas com a hereditariedade. Quais eram esses modelos?

Ea 3.2 Por que os experimentos citológicos para comprovação do crossing-over em células de drosófilas foram tão importantes para a consolidação dos mapas cromossômicos e da TCH, se anteriormente haviam sido publicados trabalhos semelhantes, porém realizados com células de outras espécies?

Ea 3.3 Por que após a consolidação da TCH as mutações segundo a proposta de Hugo De Vries foram desconsideradas?

Ea 3.4 Anteriormente à hipótese cromossômica da herança já havia hipóteses e modelos sobre a relação entre genes e cromossomos. Como era o modelo proposto por Carl Correns?

Ea 3.5 Por que Morgan reconsiderou suas primeiras interpretações para os resultados dos cruzamentos envolvendo as "moscas white", se essas explicavam de forma lógica os números obtidos nos experimentos?

Ea 3.6 Assim como o grupo de pesquisa liderado por William Bateson também obteve resultados experimentais que indicavam o linkage. Como eles interpretaram tais resultados?

Ea 3.7 O que foi a hipótese da reduplicação, proposta em 1911 por Bateson e Punnett?

Eixo: Epistemológico (E)	Subeixo: Problema de origem do conhecimento (a)	Tema 4: Influências teóricas sobre observações e experiências.	Código de cor: azul

Ea 4.1 Como a TCH influenciou novas interpretações dos princípios apresentados no século XIX por Charles Darwin e Alfred Wallace sobre adaptação e evolução dos seres vivos?

Ea 4.2 Qual teria sido uma possível interpretação para a ocorrência da "mosca white" se essa tivesse sido encontrado por Fernandus Payne, durante sua passagem pelo grupo de pesquisa liderado por Thomas Morgan?

Ea 4.3 Como os biometristas do início do século XX entenderam as variações genéticas estudadas naquele período?

Ea 5.1 Grande parte das pesquisas científicas em Química e Física, ocorridas ao longo da história da Ciência, buscou compreender situações observadas no mundo natural e propor "padrões" que explicassem tais fenômenos. Nesse processo, exceções e variedades foram conhecidas e também analisadas cientificamente. O mesmo ocorreu com as pesquisas envolvendo os seres vivos, a "propriedade" da variação é algo muito

mais marcante entre os seres vivos, do que na matéria não viva. Sendo assim, indiquei características dos trabalhos feitos com drosófila no início do século XX que ilustrem esse grande potencial de variabilidade dos seres vivos.

Eixo: Epistemológico (E)	Subeixo: Métodos, procedimentos e processos (b)	Tema 1: Coleta, interpretação e análise de dados	Código de cor: verde

Eb 1.1 Quais vantagens as drosófilas apresentavam, enquanto organismo modelo para pesquisas envolvendo hereditariedade, em termos de volume de resultados gerados a partir dos cruzamentos?

Eb. 1.2 Os resultados dos cruzamentos de drosófilas foram comparados com os de outras espécies?

Eb 1.3 Como os grupos de pesquisa liderados por William Bateson e Thomas Morgan analisaram os dados de cruzamentos que apresentavam resultados diferentes da proposta mendeliana?

Eb 1.4 Como os trabalhos descritivos desenvolvidos por entomólogos como Johann W. Meigen, Charles W. Woodworth e Frank E. Lutz contribuíram para a adoção das drosófilas como organismo modelo em pesquisas envolvendo a necessidade de cruzamentos?

Eb 1.5 De que forma Alfred H. Sturtevant interpretou os dados provenientes dos cruzamentos de drosófilas, para relacionar os genes aos cromossomos, propondo um modelo de mapa cromossômico?

Eb 1.6 Quais tipos de erros poderiam acontecer durante o cultivo e manejo das drosófilas em laboratório, que viessem a promover erros na geração dos dados provenientes dos cruzamentos?

Eb 1.7 Por que os pesquisadores do grupo liderado por Thomas Morgan cultivavam drosófilas em laboratório, ao invés de utilizarem em seus experimentos insetos provenientes do meio ambiente?

Eixo: Epistemológico (E)	Subeixo: Métodos, procedimentos e processos (b)	Tema 2: Modelagem	Código de cor: verde

Eb 2.1 De maneira Thomas Morgan concebia o processo biológico de hereditariedade antes de tomar contato com a hipótese cromossômica da herança e de desenvolver seu trabalho com drosófilas?

Eb 2.2 Como era o modelo de cromossomo proposto por Morgan e seus colaboradores em sua publicação "*The mechanism of Mendelian heredity*", feita em 1915?

Eb 2.3 Como a relação entre os "fatores" X (sexo biológico) e W (mutação de olhos brancos – white) foram sintetizadas nas primeiras hipóteses propostas por Morgan e seus colaboradores?

Eixo: Epistemológico (E)	Subeixo: Métodos, procedimentos e processos (b)	Tema 3: Observação e inferência	Código de cor: verde

Eb 3.1 Por que Thomas Morgan e seus colaboradores inferiram que a mutação para cor de olhos brancos (white) tinha relação com o sexo biológico das moscas drosófilas?

Eb 3.2 Como Thomas Morgan e seus colaboradores souberam que estavam lidando com mutações, a partir dos cruzamentos de drosófilas?

Eb 3.3 Qual foi a importância de algumas características estudadas por Morgan e seus colaboradores serem relacionadas ao sexo biológico na constituição da TCH?			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Métodos, procedimentos e processos (b)**	**Tema 4: Hipóteses, previsões e testes**	**Código de cor: verde**
Eb 4.1 Do que Thomas Morgan pensou se tratar a variante de cor para olhos de drosófilas quando a "mosca white" foi identificada? **Eb 4.2** A identificação de várias outras mutações em drosófila, após a "mosca white", corroborou a hipótese inicial de Morgan quanto ao conceito de mutação que ele tinha inicialmente? **Eb.4.3** Como as pesquisas citológicas envolvendo os conceitos de crossing-over e linkage corroboraram a hipótese dos grupos de ligação em drosófilas? **Eb 4.4** A TCH corroborou os princípios mendelianos sobre hereditariedade? **Eb. 4.5** Os cruzamentos com drosófilas foram realizados para testar a hipótese cromossômica apresentada anteriormente por diferentes pesquisadores, entre eles Walter Sutton e Theodore Boveri?			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Métodos, procedimentos e processos (b)**	**Tema 5: Correção e causalidade**	**Código de cor: verde**
Eb 5.1 Como os trabalhos com drosófilas, os mapas cromossômicos e a TCH contribuíram para a elucidação dos casos correspondentes e não correspondentes aos princípios mendelianos? **Eb 5.2** Como os trabalhos de Herman Muller envolvendo drosófilas auxiliaram a Ciência a compreender os efeitos da radiação sobre os organismos vivos? **Eb 5.3** Como as pesquisas citológicas envolvendo o crossing-over em milho e drosófila auxiliaram na compreensão sobre os resultados de cruzamentos envolvendo variações parentais e recombinantes?			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Métodos, procedimentos e processos (b)**	**Tema 6: Natureza da explicação em Ciência**	**Código de cor: verde**
Eb 6.1 Como se explica o fenótipo para cor de pele em humanos a partir de argumentos fundamentados no senso comum? E como se faz o mesmo a partir da TCH? **Eb 6.2** Qual a diferença de tempo (em anos) entre a realização dos primeiros experimentos com o objetivo de se compreender sobre os mecanismos hereditários, envolvendo drosófilas, e a consolidação da TCH junto à comunidade científica? **Eb 6.3** Como os resultados dos cruzamentos envolvendo as "moscas white" auxiliaram na compreensão sobre a relação entre genes e cromossomos pela comunidade científica? **Eb 6.4** Como os trabalhos realizados pelos grupos de pesquisa liderados por William Bateson e Thomas Morgan auxiliaram a comunidade científica a compreender sobre as contribuições de Mendel para o estudo da hereditariedade?			

Eixo: Epistemológico (E)	Subeixo: Métodos, procedimentos e processos (b)	Tema 7: Avaliação de teorias	Código de cor: verde
Eb 7.1 Quais eram as semelhanças e diferenças entre as teorias da “associação zigótica” e “coupling”, propostas por William Bateson e Edith Saunders, e o linkage, proposto pelo grupo de pesquisa liderado por Thomas Morgan? **Eb 7.2** Quais eram as semelhanças e diferenças entre as teorias da “reduplicação”, proposta por William Bateson e Reginald Punnett, e o crossing-over, proposto pelo grupo de pesquisa liderado por Thomas Morgan?			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Métodos, procedimentos e processos (b)**	**Tema 8: Papel das analogias, imaginação e criatividade**	**Código de cor: verde**
Eb 8.1 Explique a analogia entre as primeiras propostas de mapas cromossômicos e um colar de contas. **Eb 8.2** A microscopia eletrônica foi desenvolvida somente a partir da década de 1930, portanto, até então só se conseguia ver os cromossomos durante o período de Metáfase, no processo de divisão celular. Dessa forma, os dizia-se que os cromossomos “desapareciam” durante parte do processo. O que parte dos pesquisadores da área atuantes naquela época imaginavam que acontecia entre os cromossomos, quando estes estavam “desaparecidos” nas células?			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Métodos, procedimentos e processos (b)**	**Tema 9: Senso comum sobre o método científico**	**Código de cor: verde**
Eb 9.1 As pesquisas sobre hereditariedade envolvendo cruzamentos de drosófilas, realizadas no início do século XX seguiram “os passos do método científico” (Observação do fenômeno; Formulação de hipóteses; Teste de hipóteses por experimentação; Análise de resultados; Aceitação ou refutação das hipóteses; Reinício do processo ou Conclusões e proposição de teoria científica)? **Eb 9.2** Como os materiais didáticos do Ensino Médio explicam a utilização de drosófilas como organismo modelo nas pesquisas sobre hereditariedade realizadas no início do século XX? Essa explicação é condizente com os fatos históricos desse episódio? **Eb 9.3** Quando Thomas Morgan e seus colaboradores apresentaram suas propostas sobre a TCH em sua publicação “*The mechanism of Mendelian heredity*”, em 1915, havia comprovações obtidas por experimentos citológicos envolvendo drosófilas?			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Métodos, procedimentos e processos (b)**	**Tema 10: Ciência e outros tipos de conhecimento**	**Código de cor: verde**
Eb 10.1 Atualmente ainda são realizadas pesquisas com drosófilas no campo da Genética? **Eb 10.2** As técnicas e conceitos decorrentes das pesquisas sobre hereditariedade envolvendo drosófilas, realizadas no início do século XX, ainda fundamentam pesquisas científicas na atualidade?			

Eixo: Epistemológico (E)	Subeixo: Métodos, procedimentos e processos (b)	Tema 11: Diferença entre as áreas	Código de cor: verde
Eb 11.1 Em experimentos científicos nos quais há tratamento e análise de amostras obtidas a partir do ambiente, as condições de constituição da amostra, como de realização dos experimentos, interferem diretamente nos resultados. No caso de amostras vivas, a influência ambiental vai além dos parâmetros físicos e químicos do ambiente. Os seres vivos apresentam uma relação com o meio que os é exclusiva: a adaptação. Assim, aponte quais adaptações das drosófilas foram consideradas vantajosas para que essas moscas se tornassem um organismo modelo tão eficiente em pesquisas genéticas.			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Conteúdo/Natureza do conhecimento produzido (c)**	**Tema 1: Leis e teorias**	**Código de cor: amarelo**
Ec 1.1 Por que se diz que no início dos anos 1900, os trabalhos de Theodore Boveri e Walter Sutton apresentavam uma hipótese cromossômica da herança, e atualmente, se diz que a relação entre genes e cromossomos é descrita pela teoria cromossômica da herança? **Ec 1.2** Por que as hipóteses da "reduplicação" e da "presença-ausência", propostas pelo grupo de pesquisa liderado por William Bateson, não eram leis ou teorias científicas? **Ec 1.3** Apesar de Johan Gregor Mendel nunca ter classificado seu trabalho como leis científicas, atualmente é dessa forma que o mesmo é abordado nos conteúdos relativos ao Ensino Médio. Por que as propostas mendelianas são classificadas como leis científicas e a relação entre cromossomos e genes é classificada como teoria (cromossômica da herança)?			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Conteúdo/Natureza do conhecimento produzido (c)**	**Tema 2: Postulados**	**Código de cor: amarelo**
Ec 2.1 A TCH corroborou os princípios mendelianos sobre hereditariedade?			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Conteúdo/Natureza do conhecimento produzido (c)**	**Tema 3: Noção de modelo científico**	**Código de cor: amarelo**
Ec 3.1 O modelo referente à estrutura molecular do DNA foi proposto em 1953, portanto, cerca de 20 (vinte) anos após a consolidação da TCH. Como foi possível a proposição dos modelos de cromossomos compostos por sequências lineares de genes, como também, o modelo explicativo sobre o crossing-over, sem que se conhecesse sobre a principal molécula diretamente envolvida nesses modelos? **Ec 3.2** Apesar de o desenvolvimento da microscopia eletrônica ter ocorrido na primeira metade do século XX, desde o final do século anterior (XIX) modelos a respeito do comportamento dos cromossomos durante o ciclo celular já haviam sido propostos. Qual foi a contribuição desses modelos para a análise dos resultados obtidos com os cruzamentos de drosófilas durante os anos 1900 e 1920? **Ec 3.3** Os modelos para explicação da constituição dos cromossomos são atualmente aceitos exatamente como foram propostos no início do século XX?			

Eixo: Epistemológico (E)	Subeixo: Conteúdo/Natureza do conhecimento produzido (c)	Tema 4: Papel da Matemática	Código de cor: amarelo
Ec 4.1 Sabendo que até a década de 1920 não foram realizadas análises citológicas sobre o padrão de herança das mutações identificadas em drosófilas desde o início do século XX, como os(as) pesquisadores(as) daquele período analisaram os resultados dos inúmeros cruzamentos promovidos? **Ec 4.2** Qual foi a metodologia utilizada por Alfred Sturtevant para propor seu primeiro modelo de mapa cromossômico? **Ec 4.3** Qual foi a importância das análises quantitativas nos trabalhos realizados no início do século XX pelo grupo de pesquisa liderado por Thomas Morgan? **Ec 4.4** Os trabalhos sobre hereditariedade realizados com drosófilas no início do século XX foram os primeiros no campo da Genética utilizarem de análises quantitativas para interpretação dos dados?			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Conteúdo/Natureza do conhecimento produzido (c)**	**Tema 5: Poder e limitações do conhecimento científico**	**Código de cor: amarelo**
Ec 5.1 Atualmente ainda são feitas pesquisas no campo da Genética e em outros relacionados que utilizam drosófilas como organismo modelo? **Ec 5.2** Apesar da grande importância das drosófilas no meio científico, atualmente existem organismo modelos mais adequados para serem usados em pesquisas no campo da Genética e outros relacionados? **Ec 5.3** Como as críticas que Thomas Morgan e William Bateson apresentavam em relação à (então) hipótese cromossômica da herança contribuíram para que a mesma se constituísse em uma teoria científica?			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Conteúdo/Natureza do conhecimento produzido (c)**	**Tema 6: Ciência e outros tipos de conhecimento**	**Código de cor: amarelo**
Ec 6.1 É como a utilização da expressão “puxar” para se referir à hereditariedade de características biológicas em uma família. Como a TCH auxilia pode auxiliar no entendimento sobre o significado dessa expressão popular, nesse contexto?			

Eixo: Epistemológico (E)	Subeixo: Conteúdo/Natureza do conhecimento produzido (c)	Tema 7: Poder e limitações do conhecimento científico	Código de cor: amarelo
Ec 7.1 Em vista do conhecimento associado à TCH, os cariótipos e ideogramas passaram a ser utilizados largamente em diversos campos científicos. Qual a utilidade desses recursos na área da saúde humana, nos estudos evolutivos e de classificação biológica e na Biotecnologia? **Ec 7.2** Como a microscopia possibilitou a proposição da hipótese cromossômica da herança, e como a consolidação da TCH contribuiu para o avanço da microscopia? **Ec 7.3** Qual a diferença entre as técnicas de análises genéticas utilizadas nas pesquisas sobre hereditariedade envolvendo drosófilas, realizadas no início do século XX, e aquelas para análises genéticas, genômicas e moleculares, realizadas atualmente com o mesmo organismo modelo? **Ec 7.4** Por que atualmente ainda são realizadas pesquisas com organismos modelo, como drosófilas, para se desenvolver conhecimento científico sobre questões relativas à espécie humana? **Ec 7.5** Como o desenvolvimento de computadores a partir da segunda metade do século XX, impactou o desenvolvimento de conhecimento científico sobre a genética das drosófilas? **Ec 7.6** As técnicas de cultivo, controle e análise dos cruzamentos de drosófilas utilizadas no início do século XX envolviam a utilização de frascos de vidro, frutas para alimentação das moscas, substâncias anestésicas voláteis e lupas (atualmente consideradas simples) para observação. Tais instrumentos e técnicas podem ser considerados como tecnologia?			
Eixo: Epistemológico (E)	**Subeixo: Conteúdo/Natureza do conhecimento produzido (c)**	**Tema 8: Diferença entre as áreas**	**Código de cor: amarelo**
Ec 8.1 Em ciências da natureza é comum que os conteúdos abordados apresentem alto grau de abstração, o que por acarretar em dificuldades para o ensino e aprendizagem dos mesmos. Grande parte dos conteúdos relativos ao universo celular são trabalhados a partir de modelos, por conta do alto grau de abstração. Porém, a tecnologia permitiu, ao longo da história da Ciência, que alguns conteúdos pudessem ser "materializados", permitindo sua observação direta. Sendo assim, é possível dizer que, até certo ponto, atualmente o modelo cromossômico foi materializado a partir de técnicas citológicas e citogenéticas, permitindo sua observação direta?			

Fonte: o autor da tese fundamentado em Martins (2015a).

5.2 Identificação de pseudo-história e concepções míticas sobre Ciência em materiais didáticos, textos de divulgação científica e materiais digitais diversos.

Esta atividade fundamenta-se na proposta de Douglas Allchin (2013) em relação aos conceitos de “mitos científicos” e “pseudo-história”. De acordo com esse autor, a relação entre a Ciência como atividade humana, a forma como a sociedade a compreende e a cultura dominante, possibilita a ocorrência de mitos científicos, ou seja, narrativas populares no meio social que apresentam simplificações e distorções decorrentes da forma como os fatos científicos são interpretados pela maioria das pessoas. Esses mitos, além de moldarem a percepção pública sobre a Ciência, podem fundamentar ações e discursos em diferentes campos sociais, como economia e política. Nessa perspectiva, entende-se que a Ciência influencia e é influenciada por fatores sociais, culturais e históricos.

Associada à “arquitetura dos mitos científicos”, tem-se as pseudo-histórias, definidas por narrativas históricas fundamentadas nos mitos científicos, que por meio de distorções e alterações, fazem com que tal concepção da Ciência se estabelece socialmente, uma vez que essas narrativas vão também se adequando a esses mitos e ao contexto em que se propagam. Segundo Allchin (2013), é possível a identificação de mitos científicos em meio aos textos pseudo-históricos por meio de indicadores que auxiliam no reconhecimento de características marcantes desse tipo de construção teórica. Tais indicadores são: *(I) a monumentalidade, (II) a idealização, (III) o drama afetivo* e *(IV) as narrativas explicativas e justificativas.*

A *monumentalidade* define-se, de acordo com Allchin (2013), pela descrição grandiosa dos cientistas, ou em termos narrativos, das personagens das pseudo-histórias sobre fatos científicos, de maneira que a elas sejam atribuídas características heroicas e virtuosismos. Nesse tipo de abordagem os erros, equívocos, dúvidas e outras características que possam ser consideradas incompatíveis com tais figuras grandiosas, como determinados comportamentos e características pessoas, são omitidos, assim como as possíveis colaborações e parcerias científicas que pudessem ofuscar a personagem descrita.

Uma das funções desse tipo de recurso retórico é despertar o interesse daqueles(as) que recebem os relatos, mas que pode gerar efeito contrário, levando as pessoas a acreditarem que a prática científica é algo reservado apenas a pessoas com tais atributos especiais. No contexto da TCH, a figura mais enaltecida é de

Thomas Morgan, o pesquisador que sozinho, em momento de grande inspiração e brilhantismo, teria tido a iniciativa de cultivar drosófilas por meios próprios e individualmente, teria organizado toda a proposição da teoria a partir daquilo que observou e analisou.

Já a *idealização*, segundo aquele autor, é a valorização desigual entre elementos, personagens, ou fatos dentro de uma pseudo-história, de maneira que aquilo que tido como mais significativo é descrito ou apresentado de forma mais solene, enquanto que ao que se atribui menor significância, cabe a descrição mais discreta. Há a maximização de alguns elementos e o nivelamento, ou até certo rebaixamento de outros (ALLCHIN, 2013). No contexto da TCH, enquanto Thomas Morgan tem seu trabalho científico enaltecido, seus orientados, Calvin Bridges, Herman Müller, Alfred Sturtevant, entre outros, e por vezes também as moscas drosófilas, são colocados como “coadjuvantes” dentro do enredo principal associado ao primeiro.

O *drama afetivo* se apresenta por meio de recursos retóricos que visam envolver e persuadir as pessoas que tomam contato com a pseudo-história, de maneira que essas se tornem mais atraentes e críveis por parte daquelas. Esse recurso também aumenta as possibilidades de que a pseudo-história seja memorizada e relembrada mais facilmente, aumentando as chances de ser replicada e difundida. Maniqueísmos, rivalidades, oposições, conflitos internos ou entre elementos, como personagens, ideias, propostas, etc., são elementos frequentes nesse tipo de discurso. Tem-se, consequentemente as figuras do bem e do mal, do certo e do errado, do “herói” e do “vilão”. Também são utilizados recursos que evidenciem emoções como surpresa, euforia, resistência, entre outras (ALLCHIN, 2013). No contexto da TCH tem-se a oposição entre os grupos de pesquisa liderados por Thomas Morgan (“o certo”) e William Bateson (“o errado”).

Por fim, o quarto indicador é a ocorrência de *narrativas que visam explicar e justificar* a valorização ou desvalorização dos elementos, personagens ou fatos abordados. As explicações sobre ações, opiniões, escolhas, procedimentos, etc., justificam suas qualidades positivas ou negativas. O autor também aponta que narrativas como essas evidenciam a forma como a Ciência tem por finalidade encontrar “a verdade”. Para isso, utiliza-se de métodos especiais e infalíveis, experimentos altamente planejados e eficientes, análises altamente diretas e precisa,

realizadas por pessoas de altas habilidades intelectuais, justificando a autoridade das mesmas e da própria Ciência. Tais explicações também visam justifica a autoridade de determinado(a) pesquisador(a) no campo científico (ALLCHIN, 2013). No contexto da TCH tem-se a intenção de Thomas Morgan “provar” ou “evidenciar” as chamadas Leis de Mendel para a hereditariedade, ou então, a descoberta ou escolha certeira que aquele pesquisador fez do melhor organismo modelo que poderia lhe servir em meio a diversas opções, as drosófilas.

Em trabalho anterior, Iszlaji e Prestes (2010) identificaram concepções míticas envolvendo episódios da HC relacionados às pesquisas com drosófilas na consolidação da TCH, no início do século XX, presentes em livros didáticos do EM. Todo os indicadores foram identificados em textos presentes naqueles materiais, indicando a necessidade do cuidado por parte de professores(as) ao abordarem tal assunto e utilizarem tais materiais.

Nesse sentido, Allchin (2013) abordou a importância da identificação de concepções míticas e pseudo-história, principalmente por parte de professores(as), e aponto algumas estratégias para que isso seja possível mesmo por aqueles(as) que não apresentam grande prática com a abordagem história dos conteúdos escolares. São algumas sugestões do autor: o incentivo para que estudantes desenvolvam pensamento crítico e questionem as informações que lhes são apresentadas; a avaliação sobre a confiabilidade de fontes de informação; a abordagem sobre NdC junto aos conteúdos conceituais ensinados; a identificação e correção de mitos científicos em abordagens pseudo-históricas; a contextualização histórica e cultural do conhecimento científico. Por fim, tem-se a possiblidade de utilização daqueles indicadores para que professore(as) possam se orientar quanto a abordagem de episódios da HC.

Dessa forma, apresenta-se aqui algumas sugestões de utilização dos indicadores propostos por Allchin (2013) para que professores(as) e estudantes possam identificar concepções míticas e pseudo-história em meio a materiais que abordem os episódios da HC relativos às pesquisas com drosófilas no início do século XX e à TCH.

5.2.1 Roteiro para identificação dos indicadores de pseudo-história e concepções míticas.

Sugere-se aqui um pequeno roteiro que auxilie na identificação dos indicadores, a partir da leitura do material. É importante destacar que esta sugestão apenas complementa a compreensão dos indicadores a partir de suas definições já apresentadas. Trata-se, portanto, de um artifício de ordem prática.

O quadro a seguir (Quadro 4) apresenta ações categorizadas de acordo com os indicadores que auxiliam a identificar. Também apresenta ações fundamentadas nos descritores utilizados por Tavares e Prestes (2012), em sua pesquisa sobre ocorrência de pseudo-história em materiais didáticos direcionados ao ensino de Biologia no EM, na qual aplicaram as propostas metodológicas de Douglas Allchin[40].

[40] ALLCHIN, D.: Scientiic myth-conceptions. Science & Education 87: 329-351, 2003.
_____: Pseudohistory and pseudoscience. Science & Education 13: 179-195, 2004.

Quadro 4: Ações para auxílio na identificação dos indicadores de concepções míticas e pseudo-história em textos diversos.

Monumentalidade	• Leitura do texto destacando os nomes apresentados e a frequência com que isso ocorre; • Identificar ocorrência e "qualificador" dos adjetivos referentes aos nomes. Entenda-se por "qualificador" pronomes ou palavras que denotam intensidade, como "muito", "pouco", "altamente", "extremamente", "razoavelmente", etc.; • Identificar comparações entre cientistas ou elementos do episódio, como as drosófilas, por exemplo.; • Identificar a ocorrência de superlativos como "o mais", "o menos"; • Identificar frases ou expressões que indiquem ênfase desproporcional a alguma personagem ou elemento do texto; • Ausência de críticas. • Identificar perfil "heroico" em alguma personagem do texto.
Idealização	• Leitura do texto, destacando os nomes apresentados e a frequência com que isso ocorre; • Identificar ocorrência e "qualificador" dos adjetivos referentes aos nomes. Entenda-se por "qualificador" pronomes ou palavras que denotam intensidade, como "muito", "pouco", "altamente", "extremamente", "razoavelmente", etc. • Identificar comparações entre cientistas ou elementos do episódio, como as drosófilas, por exemplo. • Identificar frases ou expressões que indiquem ênfase desproporcional a alguma personagem ou elemento do texto. • Ocorrência de críticas • Analisar unicidade ou singularidade em ações das personagens.
Drama afetivo	• Identificar ocorrência e "qualificador" dos adjetivos referentes aos nomes. Entenda-se por "qualificador" pronomes ou palavras que denotam intensidade, como "muito", "pouco", "altamente", "extremamente", "razoavelmente", etc. • Identificar a ocorrência de verbos de ação emocional, como "amar", "odiar", "desejar", etc., associados a personagens do texto. • Destacar a utilização de metáforas ou analogias. • Analisar expressões que indiquem sucesso ou cumprimento de objetivo. • Analisar descrições sobre situações de disputas ou conflitos entre personagens do texto.
Narrativas Explicativas e Justificativas	• Identificar ocorrência e "qualificador" dos adjetivos referentes aos nomes. Entenda-se por "qualificador" pronomes ou palavras que denotam intensidade, como "muito", "pouco", "altamente", "extremamente", "razoavelmente", etc. • Identificar se o narrador do texto apresenta opiniões. • Reconhecimento de simplificações ou reduções, como "fez uma pesquisa", "em seu (único) trabalho", "descobriu (sem razão aparente)". • Analisar expressões que indiquem sucesso ou cumprimento de objetivo. • Reconhecer relação direta entre a utilização de um método e a produção do conhecimento científico.

Fonte: O próprio autor fundamentado em Allchin (2004).

5.2.2 Identificação dos indicadores de pseudo-história e concepções míticas em materiais diversos.

De posse das definições e sugestões anteriores, apresenta-se aqui as seguintes possibilidades de atividade didática:

I. ***Identificação dos indicadores em textos presentes nos livros didáticos:*** Dessa forma os(as) estudantes poderão analisar se tais materiais apresentam grandes ou pequenas simplificações ao abordarem os episódios da HC em questão.

II. ***Indicação dos indicadores em textos de divulgação científica e materiais digitais:*** Dessa forma os(as) estudantes poderão analisar a abordagem dada ao episódio da HC em questão, em fontes de informações que apresentam diversos propósitos, a depender do material. Tem-se como exemplos artigos de revistas de divulgação científica, blogs ou plataformas administradas por estudantes, professores(as), pesquisadores(as), etc., sites de instituições de pesquisa, plataformas educacionais, entre outros.

III. ***Identificação dos indicadores em transcrições de vídeos e videoaulas:*** Dessa forma os(as) estudantes poderão analisar a abordagem dada ao episódio da HC em questão, em materiais digitais de grande circulação, os quais muitos apresentam limitações quanto ao tempo de duração, como canais de divulgação científica mantido por especialistas, por educadores(as), por pesquisadores(as), os por pessoas de grande influência junto ao público jovem, por meio dos meios digitais de comunicação (“influencers”). Também podem ser analisados materiais disponíveis em redes sociais e plataformas de ensino.

IV. ***Análise dos aspectos “complementares” aos materiais analisados:*** Uma vez identificada a concepção mítica ou abordagem pseudo-histórica dada pelo material ao episódio da HC em questão, uma sugestão que se apresenta é o trabalho de “complementação” daquele material, identificando pontos e questões a serem pesquisados pelos(as) estudantes, possibilitando seu contato com elementos mais fidedignos à história dos fatos estudados. Através de questões que podem ser apresentadas pelos(as) professores(as), ou construídas coletivamente, pesquisas orientadas seriam realizadas de maneira que os resultados pudessem ser compartilhados ou ainda, compor o processo avaliativo. Nesse sentido, entende-se que aspectos da NdC seriam explorados a partir da abordagem histórica do conteúdo em questão.

V. ***Elaboração conjunto de um roteiro para identificação dos indicadores:*** Uma vez compreendidas as definições dos indicadores, professores(as) poderiam sugerir que os(as) estudantes, coletivamente, separados em grupos, ou mesmo individualmente, criassem artifícios práticos que pudessem compor seus próprios roteiros para análise do episódio da HC em questão, nos diversos materiais aqui já citados. Dessa forma, entende-se que também haveria exploração da NdC no trabalho didático-pedagógico.

A seguir apresenta-se um quadro com sugestões de perguntas que podem nortear as pesquisas realizadas nestas atividades.

Quadro 5: Sugestões de perguntas a serem utilizadas na realização das atividades de identificação de indicadores de pseudo-história e concepções míticas. Perguntas selecionadas do quadro 3.

1.1. Morgan foi o responsável pela “descoberta” das drosófilas como organismo modelo?
1.2. O grupo de Morgan foi o primeiro a utilizar drosófilas em pesquisas envolvendo hereditariedade?
1.6 Por que as pesquisas citológicas com drosófilas, que elucidaram sobre os mecanismos de linkage e crossing-over, foram importar rroboração da TCH? Quais pesquisadores(as) se envolveram diretamente nessas pesquisas?
2.5 Como ocorreu a descoberta da “mosca white”?
2.6 Qual foi a importância dessa descoberta para as pesquisas sobre hereditariedade envolvendo drosófilas?
4.1 Assim como grande parte dos cientistas de seu tempo, Thomas Morgan trabalhou com inúmeras espécies animais ao longo de su a escolha por drosófilas foi antecedida pela tentativa em realizar tais pesquisas utilizando coelhos e outras espécies mais comun adêmico da época. Explique a razão pela qual Morgan não conseguiu realizar suas pesquisas por meio de cruzamentos entre coelhos e relacionou com sua opção por drosófilas.
8.2 Como eram as técnicas utilizadas no início do século XX para o cultivo e experimentação com as drosófilas?
8.3 Essas técnicas foram desenvolvidas por Thomas Morgan?
8.5 Quais tipos de pesquisa se realiza atualmente com drosófilas?
1.3 Como as drosófilas foram escolhidas para serem organismo modelo nos experimentos envolvendo hereditariedade, realizados n culo XX?
1.4 Outras espécies foram utilizadas em pesquisas da mesma natureza e realizadas no mesmo período?
1.7 Ao longo da história da Ciência, por 4 (quatro) vezes pesquisas realizadas com drosófilas foram laureadas com o importante prê m diferentes categorias do mesmo). O que significa esse tipo de premiação para um trabalho científico e para a carreira do(a emiado(a)?
2.7 Como análises matemáticas e estatísticas colaboraram para a interpretação dos cruzamentos realizados com drosófila no início do
1.1 Quais vantagens as drosófilas apresentavam, enquanto organismo modelo para pesquisas envolvendo hereditariedade, em termos resultados gerados a partir dos cruzamentos?
1.4 Como os trabalhos descritivos desenvolvidos por entomólogos como Johann W. Meigen, Charles W. Woodworth e Frank E. Lutz co ra a adoção das drosófilas como organismo modelo em pesquisas envolvendo a necessidade de cruzamentos?
1.6 Quais tipos de erros poderiam acontecer durante o cultivo e manejo das drosófilas em laboratório, que viessem a promover erros os dados provenientes dos cruzamentos?
1.7 Por que os pesquisadores do grupo de pesquisa liderado por Thomas Morgan cultivavam drosófilas em laboratório, ao invés de util us experimentos insetos provenientes do meio ambiente?
3.1 Por que Thomas Morgan e seus colaboradores inferiram que a mutação para cor de olhos brancos (white) tinha relação com o sexo s moscas drosófilas?
5.1 Como os trabalhos com drosófilas, os mapas cromossômicos e a TCH contribuíram para a elucidação dos casos corresponder rrespondentes aos princípios mendelianos?
5.2 Como os trabalhos de Herman Muller envolvendo drosófilas auxiliaram a Ciência a compreender os efeitos da radiação sobre os o os?
6.3 Como os resultados dos cruzamentos envolvendo as “moscas white” auxiliaram na compreensão sobre a relação entre genes e cro la comunidade científica?
10.1 Atualmente ainda são realizadas pesquisas com drosófilas no campo da Genética?
11.1 Em experimentos científicos nos quais há tratamento e análise de amostras obtidas a partir do ambiente, as condições de const nostra, como de realização dos experimentos, interferem diretamente nos resultados. No caso de amostras vivas, a influência ambient os parâmetros físicos e químicos do ambiente. Os seres vivos apresentam uma relação com o meio que os é exclusiva: a adaptação. Assi uais adaptações das drosófilas foram consideradas vantajosas para que essas moscas se tornassem um organismo modelo tão efi squisas genéticas.
4.1 Sabendo que até a década de 1920 não foram realizadas análises citológicas sobre o padrão de herança das mutações identif osófilas desde o início do século XX, como os(as) pesquisadores(as) daquele período analisaram os resultados dos inúmeros cru omovidos?
5.2 Apesar da grande importância das drosófilas no meio científico, atualmente existem organismo modelos mais adequados para ser n pesquisas no campo da Genética e outros relacionados?
7.1 Em vista do conhecimento associado à TCH, os cariótipos e ideogramas passaram a ser utilizados largamente em diversos campos ual a utilidade desses recursos na área da saúde humana, nos estudos evolutivos e de classificação biológica e na Biotecnologia?
7.4 Por que atualmente ainda são realizadas pesquisas com organismos modelo, como drosófilas, para se desenvolver conhecimento bre questões relativas à espécie humana?

5.3 Material digital e hipermídia para elaboração e divulgação de NdC e conteúdos sobre Genética.

Avanços tecnológicos na área de comunicação interferiram diretamente nas práticas sociais, visto a expansão da difusão de informações e das possibilidades de comunicação entre povos e culturas diversos. A exemplo da inserção do rádio, da televisão, dos computadores de uso pessoal (PCs) e da internet ao longo do século XX, o desenvolvimento dessas tecnologias interferiu de forma significativa no processo de globalização, acarretando a consolidação da cultura digital, ou cibercultura, vigente neste século XXI. Esse processo tem impactado diferentes áreas no campo social, político, econômico, como também no ensino, educação e desenvolvimento do conhecimento científico (LÉVY, 2001 p. 115).

Segundo Daroda[41] (2012 *apud* do NASCIMENTO REIS, 2024 p. 1059):

> (...) as tecnologias, enquanto fontes de interação, informação, sociabilidade e estímulo, proporcionam novas formas de convívio, novas metodologias e práticas, novas possibilidades de performances e estímulos visuais, criando espaços e novas formas de vivenciá-los, alterando seus usos e significados.

Ainda de acordo com esses(as) autores(as), em relação às mudanças paradigmáticas promovidas pela utilização dessas tecnologias no campo do ensino e da educação, a atuação docente enfrenta o desafio de protagonizar a orientação dos(as) estudantes quanto à compreensão e utilização dessas inovações tecnológicas no processo de aprendizagem, estimulando-os(as) a participarem de maneira ativa nesse processo e estimulando didaticamente sua inclusão nessa cultura digital. Esse trabalho docente é fundamental para que os(as) estudantes possam analisar criticamente as transformações científicas, tecnológicas e sociais, para que consigam se inserir no contexto global de forma a pensarem cientificamente (LIBÂNEO, 2000 p.43).

De acordo com Webber[42] e colaboradores (2016 *apud* da COSTA & WEBBER, 2023 p. 29926) o processo de transposição didática na educação básica brasileira

[41] DARODA R.F. As Novas Tecnologias e o Espaço Público da Cidade Contemporânea. Porto Alegre: UFRS Repositório, 2012.
[42] WEBBER, C.G. *et al*. Reflexões sobre O Software Scratch no Ensino de Ciências e Matemática. Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 14, n. 2,p. 1-10,2016

geralmente não é acompanhado da transposição informática (BALACHEFF[43], 2000 *apud* da COSTA & WEBBER, 2023 p. 29927), carecendo portanto, de discussões e propostas didáticas que integrem a utilização de TDICs, os conteúdos educacionais e o papel dos(as) professores(as) no processo educativo, consolidando a cultura digital na atividade docente, em vista dos aos avanços tecnológicos sobretudo nas áreas de comunicação e produção de conhecimento científico.

Em pesquisa bibliográfica do tipo estado da arte sobre trabalhos acadêmicos que envolviam a utilização de “Tecnologias de Informação e Comunicação” (TICs), para o ensino de Biologia no contexto da educação básica brasileira, Guerra e colaboradores (2022 p. 397) identificaram intensa produção de artigos científicos sobre tal temática entre os anos de 2012 e 2021, apontando inclusive, influência direta da pandemia de COVID-19, devido às demandas por esse tipo de recurso didático, decorrentes das medidas de isolamento social amplamente adotadas à época em todo o território nacional. Os autores optaram por não restringir o tipo de tecnologia considerada, sendo assim, não se tratavam exclusivamente de tecnologias digitais (TDICs). Foram levantados mais de 80.000 (oitenta mil) artigos. Apesar disso, o número de dissertações e teses foi muito menor, sendo um total de 41 (quarenta e uma) dissertações e apenas 4 (quatro) teses geradas no mesmo período.

Entre as principais conclusões, os autores destacaram que a utilização de estratégias didáticas relacionadas aos recursos tecnológicos estimula o comportamento ativo dos(as) estudantes no processo de ensino e aprendizagem, principalmente devido às possibilidades que tais recursos oferecem quanto à contextualização daqueles processos. Também ressaltaram a importância da formação docente (inicial e continuada) na popularização e diversificação daquelas estratégias de ensino associadas a tais recursos. Outro dado relevante disse respeito à facilitação e estímulo do comportamento colaborativo entre os(as) estudantes, ao interagirem entre si e com os conteúdos, por meio dos recursos tecnológicos (GUERRA, GHIDINI & da SILVA, 2022 p. 401).

No contexto cultural deste início de século XXI, os recursos digitais que se apresentaram mais recentemente ao público em geral foram as redes sociais virtuais, as plataformas de mídias sociais e as ferramentas de inteligência artificial (IA),

[43] BALACHEFF, N.: Entornos informáticos para la enseñanza de las matemáticas: complejidade didactica y expectativas. Cursos Didáticos, 2000.

desenvolvidas a partir de modelos matemáticos e algoritmos que auxiliam no processamento de grande quantidade de dados, no reconhecimento de padrões complexos e no desenvolvimento de mecanismo para aumento da eficiência em tarefas diversas, a partir de outras realizadas anteriormente, sem que ocorra programação específica. (RUSSEL & NORVING, 2004 p. 47; de LIMA *et al*, 2022 p. 112).

As redes sociais virtuais possibilitam as interações entre pessoas por meio da troca de informações e permitem o contato direto (mediado pelas redes) entre elas. Já as plataformas de mídias sociais integram tecnologia, interatividade e criação de conteúdos, permitindo o compartilhamento e divulgação de informações para o público em geral. Esses dois recursos também integram diversas possibilidades de estratégias didáticas referencias nas TDICs, possibilitando, entre outras coisas, a mobilização coletiva na divulgação de materiais digitais possíveis de serem produzidos em trabalhos realizados nas escolas, haja vista o grande interesse e utilização dessas ferramentas pelos(as) estudantes(as) (KENSKI, 2012 p. 63; de PAULO MOURA & de CARVALHO, 2019 p. 169).

Em revisão de literatura sobre a utilização das redes sociais para ensino de Biologia no contexto nacional, de Lima, Loureiro e Bezerra Queiroz (2022 p. 115) identificaram a promoção de ambientes virtuais de interação e debate entre os(as) estudantes, promovidos por estratégias didáticas envolvendo aquelas redes. Entre as maneiras de interação apresentadas estava o compartilhamento de material digital produzido pelos(as) estudantes como parte das atividades escolares.

Sobre a utilização de ferramentas de IA, do Nascimento Reis e colaboradores (2024 p.1062) realizaram pesquisa sobre a utilização dessas como recurso didático em aulas sobre arboviroses. Os autores concluíram que esse recurso tem o potencial de estimular a criatividade, interatividade e autonomia dos(as) estudantes, promovendo ganhos significativos em relação à adoção de postura ativa por parte dos mesmos. Também ressaltaram sobre a importância de tais ferramentas serem auxiliares e não substitutas da ação docente, que apresenta papel central no planejamento, articulação, realização e avaliação das ações dentro de uma estratégia didática estruturada. Tem-se, portanto, um interessante potencial de utilização daquelas ferramentas em atividades didáticas voltadas à produção coletiva de material digital por parte dos(as) estudantes.

Atualmente, versões gratuitas dessas ferramentas digitais que podem ser utilizadas de forma ágil, sendo existentes também muitos materiais de orientação e exemplificação também gratuitos (tutoriais), produzidos e distribuídos por diversos(as) usuários(as) comuns, sem grande treinamento ou formação na área tecnológica, o que atesta a possibilidade de professores(as) em geral também conseguirem usar tais ferramentas de forma fácil e eficiente.

5.3.1 Produção coletiva de material digital sobre as potencialidades de D. melanogaster como organismo modelo.

Os(as) estudantes podem ser organizados em grupos e cada um desses será responsável pela pesquisa e produção de material relativo a diferentes aspectos do tema principal. Os temas a serem abordados são:

1. Características biológicas e descritivas da espécie:
    1.1.1. Descrição e nomenclatura da espécie;
    1.1.2. Características biológicas relativas à reprodução, ciclo de vida, hábitos alimentares, ocupação e dispersão no ambiente, e comportamento.

2. Aspectos genéticos:
    2.1.1. Mutações mais conhecidas que foram utilizadas para abordagem da Genética clássica;
    2.1.2. Número e tipos de cromossomos, exemplos de genes descritos e aspectos do mapeamento genômico de *D. melanogaster*, como a época em que foi feito e semelhanças com o material humano.

3. Utilização como organismo modelo:
    3.1.1. Histórico de utilização (pesquisadores e áreas de pesquisa);
    3.1.2. Vantagens associadas às adaptações da espécie;
    3.1.3. Critérios utilizados na escolha da espécie para uso como modelo;
    3.1.4. Pesquisas recentes realizadas com *D. melanogaster.*

4. Importância constituição da Teoria Cromossômica da Herança (TCH). Relação entre as pesquisas sobre tais conceitos e a constituição da teoria:
    4.1.1. Identificação e pesquisas sobre as primeiras mutações identificadas;
    4.1.2. Características ligadas ao sexo biológico e cromossomos sexuais;
    4.1.3. Ligação gênica;
    4.1.4. Crossing-over;
    4.1.5. Mapas cromossômicos.

Nesta atividade os(as) professores(as) terão a responsabilidade de orientar as pesquisas, esclarecendo os tópicos e conceitos relevantes dentro do tema, avaliando o material produzido quanto à qualidade dos textos, correspondência conceitual, fontes utilizadas para pesquisa, imagens utilizadas, organização e trabalho dos grupos.

Após a produção do material pelos grupos, os(as) professores serão responsáveis por indicar as melhores formas de organização da formatação e (possível) publicação do material. Sugere-se aqui o envolvimento dos grupos por meio da adoção de identidade visual para os trabalhos, para a escolha dos temas, cores e recursos visuais a serem utilizados. Também se sugere a adoção de estratégias para envolvimento dos(as) estudantes na decisão sobre exposição do material, se publicado em *site*, *blog,* rede social, ou outro recurso que permita compartilhamento por meio da internet, ou ainda, se o material seria apresentado nas dependências da escola em evento interno (feira cultural e científica). Entende-se ser importante o compartilhamento do trabalho para que o mesmo seja valorizado pela comunidade escolar e pelos(as) próprios(as) autores(as). Tem-se também como possibilidades, a utilização de ferramentas digitais de IA que permitam a geração de sites ou *e-books* a partir do material gerado, de forma gratuita e que não requerem grandes habilidades técnicas dos usuários.

Independentemente do meio de exposição e divulgação do trabalho, ressalta-se a importância do devido referenciamento das fontes de pesquisa, tanto para textos como para imagens utilizadas, a fim de que se evite problemas relativos à violação de direitos autorais. Para isso, sugere-se a consulta às regras de citação estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em suas versões mais atuais.

Todas as etapas de desenvolvimento do trabalho podem compor o processo avaliativo, em vista do envolvimento e responsabilidade apresentados pelos(as) estudantes, como também, pela qualidade do material produzido. Sugere-se aqui, a padronização das pontuações atribuídas às diferentes etapas avaliadas, de modo que cada uma contribua igualmente para a avaliação final, evidenciando o reconhecimento do trabalho como um todo e não apenas do produto final.

O quadro abaixo (Quadro 5) apresenta sugestões de perguntas que podem nortear as pesquisas a serem desenvolvidas nesta atividade.

Quadro 6: Sugestões de perguntas a serem utilizadas na realização das atividades em grupo. Perguntas selecionadas do quadro 3.

SH 1.1. Morgan foi o responsável pela "descoberta" das drosófilas como organismo modelo?

SH 1.2. O grupo de Morgan foi o primeiro a utilizar drosófilas em pesquisas envolvendo hereditariedade?

SH 1.6 Por que as pesquisas citológicas com drosófilas, que elucidaram sobre os mecanismos de linkage e crossing-over, foram importantes para a corroboração da TCH? Quais pesquisadores(as) se envolveram diretamente nessas pesquisas?

SH 2.5 Como ocorreu a descoberta da "mosca white"?

SH 2.6 Qual foi a importância dessa descoberta para as pesquisas sobre hereditariedade envolvendo drosófilas?

SH 4.1 Assim como grande parte dos cientistas de seu tempo, Thomas Morgan trabalhou com inúmeras espécies animais ao longo de sua carreira. Sua escolha por drosófilas foi antecedida pela tentativa em realizar tais pesquisas utilizando coelhos e outras espécies mais comuns no meio acadêmico da época. Explique a razão pela qual Morgan não conseguiu realizar suas pesquisas por meio de cruzamentos entre coelhos e como isso se relacionou com sua opção por drosófilas.

SH 8.2 Como eram as técnicas utilizadas no início do século XX para o cultivo e experimentação com as drosófilas?

SH 8.3 Essas técnicas foram desenvolvidas por Thomas Morgan?

SH 8.5 Quais tipos de pesquisa se realiza atualmente com drosófilas?

Ea 1.3 Como as drosófilas foram escolhidas para serem organismo modelo nos experimentos envolvendo hereditariedade, realizados no início do século XX?

Ea 1.4 Outras espécies foram utilizadas em pesquisas da mesma natureza e realizadas no mesmo período?

Ea 1.7 Ao longo da história da Ciência, por 4 (quatro) vezes pesquisas realizadas com drosófilas foram laureadas com o importante prêmio Nobel (em diferentes categorias do mesmo). O que significa esse tipo de premiação para um trabalho científico e para a carreira do(a) cientista premiado(a)?

Ea 2.7 Como análises matemáticas e estatísticas colaboraram para a interpretação dos cruzamentos realizados com drosófila no início do século XX?

Eb 1.1 Quais vantagens as drosófilas apresentavam, enquanto organismo modelo para pesquisas envolvendo hereditariedade, em termos de volume de resultados gerados a partir dos cruzamentos?

Eb 1.4 Como os trabalhos descritivos desenvolvidos por entomólogos como Johann W. Meigen, Charles W. Woodworth e Frank E. Lutz contribuíram para a adoção das drosófilas como organismo modelo em pesquisas envolvendo a necessidade de cruzamentos?

Eb 1.6 Quais tipos de erros poderiam acontecer durante o cultivo e manejo das drosófilas em laboratório, que viessem a promover erros na geração dos dados provenientes dos cruzamentos?

Eb 1.7 Por que os pesquisadores do grupo de pesquisa liderado por Thomas Morgan cultivavam drosófilas em laboratório, ao invés de utilizarem em seus experimentos insetos provenientes do meio ambiente?

Eb 3.1 Por que Thomas Morgan e seus colaboradores inferiram que a mutação para cor de olhos brancos (white) tinha relação com o sexo biológico das moscas drosófilas?

Eb 5.1 Como os trabalhos com drosófilas, os mapas cromossômicos e a TCH contribuíram para a elucidação dos casos correspondentes e não correspondentes aos princípios mendelianos?

Eb 5.2 Como os trabalhos de Herman Muller envolvendo drosófilas auxiliaram a Ciência a compreender os efeitos da radiação sobre os organismos vivos?

Eb 6.3 Como os resultados dos cruzamentos envolvendo as "moscas white" auxiliaram na compreensão sobre a relação entre genes e cromossomos pela comunidade científica?

Eb 10.1 Atualmente ainda são realizadas pesquisas com drosófilas no campo da Genética?

Eb 11.1 Em experimentos científicos nos quais há tratamento e análise de amostras obtidas a partir do ambiente, as condições de constituição da amostra, como de realização dos experimentos, interferem diretamente nos resultados. No caso de amostras vivas, a influência ambiental vai além dos parâmetros físicos e químicos do ambiente. Os seres vivos apresentam uma relação com o meio que os é exclusiva: a adaptação. Assim, aponte quais adaptações das drosófilas foram consideradas vantajosas para que essas moscas se tornassem um organismo modelo tão eficiente em pesquisas genéticas.

Ec 4.1 Sabendo que até a década de 1920 não foram realizadas análises citológicas sobre o padrão de herança das mutações identificadas em drosófilas desde o início do século XX, como os(as) pesquisadores(as) daquele período analisaram os resultados dos inúmeros cruzamentos promovidos?

Ec 5.2 Apesar da grande importância das drosófilas no meio científico, atualmente existem organismo modelos mais adequados para serem usados em pesquisas no campo da Genética e outros relacionados?

Ec 7.1 Em vista do conhecimento associado à TCH, os cariótipos e ideogramas passaram a ser utilizados largamente em diversos campos científicos. Qual a utilidade desses recursos na área da saúde humana, nos estudos evolutivos e de classificação biológica e na Biotecnologia?

Ec 7.4 Por que atualmente ainda são realizadas pesquisas com organismos modelo, como drosófilas, para se desenvolver conhecimento científico sobre questões relativas à espécie humana?

Fonte: o autor da tese.

5.4 Trabalho cooperativo para ensino de NdC e conceitos básicos em Genética.

Um dos aspectos mais significativos da NdC que deve ser trabalhado no ensino básico, a fim de ideias ingênuas ou equivocadas sejam ressignificadas, é o caráter coletivo do trabalho e da produção do conhecimento científico (GIL-PÉREZ *et al*., 2001). Nesse sentido, faz-se aqui um paralelo com a fundamentação teórica dos processos de ensino e aprendizagem. Abordagens consideradas tradicionais apresentarem também uma centralidade na ação individual, sendo professores(as) entendidos(as) como “fonte” e estudantes como “receptores(as)”, em contraste com abordagens mais recentes, pautadas no trabalho coletivo, na atenção aos processos cognitivos, e na mobilização de estratégias e recursos que envolvam conjuntamente professores(as) e estudantes igualmente como agentes nos processos. Abordagens consideradas cognitivistas e socioculturais (MIZUKAMI, 1986).

Sendo assim, entende-se que estratégias didáticas pautadas na interação social, e em processos colaborativos de ensino e aprendizagem, além de conferirem elementos que conduzem os(as) estudantes ao desenvolvimento da criticidade, podem, por meio disso, evidenciar o caráter coletivo da Ciência. A partir de tal posicionamento, apresta-se aqui sugestões de materiais didáticos fundamentados em aprendizagem cooperativa.

Em vista das diversas abordagens sobre cooperação e colaboração no trabalho didático-pedagógico realizado na educação básica, adotou-se aqui como referência as propostas de divulgadas pelos irmãos Johnson e seus colaboradores (1974, 1978 e 1984). Tal opção justifica-se pela adoção da mesma em diversas pesquisas sobre o tema. Em trabalho de revisão de literatura sobre aprendizagem cooperativa no ensino de Ciências a partir do referencial citado, da Silva, Teodoro e Queiroz (2019), constataram crescente produção científica internacional voltada à pesquisa sobre essa abordagem de ensino. Em termos de produção nacional, indicaram haver potencial para melhor exploração da temática, mas identificaram publicações voltadas principalmente para o EM.

De acordo com Johnson e colaboradores (1974,1978e 1984), a aprendizagem cooperativa baseia-se na interação e no compartilhamento de saberes entre os(as) estudantes, de modo que seja possível que esses(as) também ensinem o que aprenderam, ainda que se tenha a ação docente como elemento importante do desse processo. Além da aprendizagem dos conteúdos abordados, espera-se que tal

processo cooperativo possibilite também o desenvolvimento de habilidades interpessoais e intelectuais. Para que ocorra a cooperação, os objetivos individuais se associam a objetivos coletivos que são compartilhados pelos membros dos grupos de trabalho. Sendo assim, as estratégias didáticas são todas organizadas para o trabalho coletivo e não individual. Ainda segundo aqueles autores, para que a cooperação seja garantida, tais estratégias devem contemplar 5 (cinco) condições, sendo essas:

- *Interdependência positiva:* Por compartilharem os mesmos objetivos ao desempenharem as tarefas, os membros dos grupos de trabalho devem depender, em certo sentido, do sucesso dos(as) colegas, quando esses desempenharem suas tarefas, conforme estipulado pelo próprio grupo. Nesse sentido os(as) estudantes não se ocupam apenas de suas próprias aprendizagens, mas assume certo compromisso com a aprendizagem dos(as) colegas. Por essa razão, é comum entre as estratégias didáticas cooperativas a atribuição de responsabilidades específicas aos membros do grupo, de modo que todos os indivíduos dependam de elementos atribuídos aos(às) colegas para obterem sucesso na atividade proposta.

- *Responsabilidade individual:* Uma vez que o próprio sucesso é dependente da ação de outra pessoa, ao mesmo tempo que a ação individual se reflete no sucesso do(a) colega, se estabelece aí uma relação entre os membros do grupo de trabalho, de forma a favorecer a colaboração mútua e o comprometimento pessoal com a atividade.

- *Interação "cara a cara"*[44]*:* Os membros dos grupos de trabalho devem interagir diretamente entre si, por meio de explicações, discussões, colaborações, etc. É uma condição fundamental para a cooperação uma vez que possibilita a interação mais próxima entre os(as) colegas e por meio de trocas ou construção coletiva. Há um alto grau de compartilhamento entre os(as) colegas.

- *Habilidades interpessoais:* Desenvolvimento de habilidades referentes ao convívio social, dado de forma colaborativa. Habilidades comunicativas, como boa expressão, capacidade de escuta e compreensão, tolerância, respeito e empatia pelas características apresentadas pelas outras pessoas. Também o desenvolvimento de habilidade em relação à tomada de decisões, negociação, resolução de conflitos e confiança nos(as) colegas.

- *Processamento grupal:* Constante avaliação coletiva sobre os trabalhos realizados, o planejamento e execução das ações, além da análise coletiva sobre a aprendizagem do grupo.

[44] Tradução livre da expressão em inglês *"face to face".* Original em JOHNSON, D. W., JOHNSON, R. T., HOLUBEC, E. J., ROY, P. *Circles of learning*. Virginia: Association for Supervision and Curriculum Development. 1984.

Em sua revisão de literatura, da Silva, Teodoro e Queiroz (2019) apontaram que a estratégia didática mais frequente nos trabalhos analisados foi a atividade *"Jigsaw Classroom"* (JC), traduzida livremente para o português como "Quebra-cabeças". Essa estratégia foi desenvolvida por Aronson e colaboradores (1978) e o nome faz menção ao fato de todos(as) os(as) participantes iniciarem as atividades do mesmo ponto. Além disso, o nome também faz referência ao fato de que a atividade só é completa com sucesso mediante à integralização dos trabalhos desenvolvidos por cada membro do grupo, assemelhando-se com peças de um quebra-cabeças, que apenas reunidas de forma específica conseguem formar corretamente uma figura.

Essa estratégia didática reforça a interdependência entre os(as) participantes, uma vez que são formados grupos e subgrupos de trabalho, tornando cada pesquisa totalmente relevante para a conclusão da atividade. Cada membro contribui com o grupo mediante ao compartilhamento de informações exclusivas, que até o momento do compartilhamento, somente são do conhecimento daquele membro específico. Porém, somente a partir da integralização dessas informações é que o conjunto assume sentido mediante à tarefa proposta pelo(a) professor(a), que além de articular as discussões entre os grupos, participa ativamente orientando debates e propostas de resolução.

Outro ponto importante da estratégia JC é a avaliação que o grupo de trabalho faz sobre pontos positivos alcançados e pontos a serem melhorados a partir daquela experiência. Esse fator reforça as condições relacionadas às habilidades interpessoais e de análise dos membros do grupo sobre suas próprias ações. Nesse sentido, é importante que o(a) professor(a) oriente o processo de análise, oferecendo sugestões de "parâmetros" a serem avaliados pelos(as) estudantes. De acordo com a literatura, a estratégia didática JC não apenas contempla eficientemente as condições da aprendizagem cooperativa, como possibilita desenvolvimento de habilidades cognitivas, interpessoais, de comunicação, criatividade, atenção, envolvimento com a atividade didática e colaboração (BARBOSA & JÓFILI, 2004; COCHITO, 2004).

A seguir, tem-se a descrição das etapas que compõem a estratégia didática JD já adaptadas às sugestões para o ensino da temática em questão nesta tese.

5.4.1 Trabalho cooperativo de pesquisa sobre a utilização de Drosophila melanogaster nas pesquisas relacionadas à TCH.

Esta atividade é baseada na estratégia didática JD para promoção da aprendizagem cooperativa, portanto, os(as) estudantes deverão formar grupos iniciais (*grupos base*). Para isso sugere-se que a escolha dos grupos ocorra de maneira livre, visto que a interação com os(as) demais colegas se dará na etapa seguinte. Nessa etapa é possível também que os membros do grupo base assumam funções dentre dele, como: mediador, porta-voz, redator, relator, entre outras.

Com os grupos base já formados e posicionados na sala de aula, os(as) professores(as) deverão apresentar as questões iniciais. A estratégia original propõe que sejam feitas questões abertas, de maneira que os grupos base possam refletir sobre as mesmas e planejarem meios para responde-las. Tendo-se em vista o objetivo de abordar a NdC a partir dos episódios da HC relacionados à utilização de *D. melanogaster* na consolidação da TCH, sugere-se aqui a seleção de perguntas do Quardo 4, sendo uma do eixo sócio-histórico (SH) e outra do eixo epistemológico (E). O Quadro 6 a seguir apresenta algumas possibilidades. Outra possibilidade é a utilização de questões abrangentes que dialoguem mais diretamente com os conteúdos já trabalhados em sala de aula, por exemplo, após ocorridas aulas expositivas sobre a temática em questão.

Como exemplos, tem-se a seguintes questões:

- *Como as moscas drosófilas (D. melanogaster) foram escolhidas como organismo modelo nas pesquisas realizadas por Thomas Morgan e seus colaboradores?*
- *Por que as moscas drosófilas (D. melanogaster) foram tão importantes para a História da Biologia?*
- *Como Thomas Morgan teve contato com as moscas drosófilas (D. melanogaster) que ele veio a utilizar em seus experimentos sobre hereditariedade?*
- *Por que nas pesquisas feitas por Thomas Mogan e seus colaboradores não foram usadas outras mais comuns de "cobaias", como ratos, coelhos, porquinhos da índia, peixes, ou mesmo plantas, ao invés das moscas drosófilas (D. melanogaster)?*

Quadro 7: Sugestões de perguntas a serem utilizadas pelo(a) professor(a) na etapa inicial da estratégia didática.

SH 1.1 Morgan foi o responsável pela "descoberta" das drosófilas como organismo modelo? **SH 1.4** Quais as colaborações de Bridges, Sturtevant e Miller para a TCH?
SH 2.5 Como ocorreu a descoberta da "mosca white"?
SH 2.6 Qual foi a importância dessa descoberta para as pesquisas sobre hereditariedade envolvendo drosófilas?
SH 4.1 Assim como grande parte dos cientistas de seu tempo, Thomas Morgan trabalhou com inúmeras espécies animais ao longo de sua carreira. Sua escolha por drosófilas foi antecedida pela tentativa em realizar tais pesquisas utilizando coelhos e outras espécies mais comuns no meio acadêmico da época. Explique a razão pela qual Morgan não conseguiu realizar suas pesquisas por meio de cruzamentos entre coelhos e como isso se relacionou com sua opção por drosófilas.
SH 5.1 Quais foram os objetivos científicos de Morgan ao adotar drosófilas como organismo modelo?
SH 8.6 Quais avanços tecnológicos nas pesquisas envolvendo material genético, realizadas ao longo do século XX e neste início de século XXI, decorreram (direta ou indiretamente) da consolidação da TCH?
Ea 1.2 Como se define qual espécie será utilizada em uma pesquisa científica?
Ea 1.3 Como as drosófilas foram escolhidas para serem organismo modelo nos experimentos envolvendo hereditariedade, realizados no início do século XX?
Ea 1.7 Ao longo da história da Ciência, por 5 (cinco) vezes pesquisas realizadas com drosófilas foram laureadas com o importante prêmio Nobel (em diferentes categorias do mesmo). O que significa esse tipo de premiação para um trabalho científico e para a carreira do(a) cientista premiado(a)?
Ea 2.4 Como a TCH colaborou para o reconhecimento histórico dos trabalhos de Mendel?
Ea 2.5 Como a TCH influenciou novas interpretações dos princípios apresentados no século XIX por Charles Darwin e Alfred Wallace sobre adaptação e evolução dos seres vivos?
Ea 2.6 Foi a partir dos experimentos envolvendo drosófilas que a hipótese cromossômica da herança foi sugerida?
Eb 1.7 Por que os pesquisadores do grupo liderado por Thomas Morgan cultivavam drosófilas em laboratório, ao invés de utilizarem em seus experimentos insetos provenientes do meio ambiente?
Eb 2.1 De maneira Thomas Morgan concebia o processo biológico de hereditariedade antes de tomar contato com a hipótese cromossômica da herança e de desenvolver seu trabalho com drosófilas?
Eb 6.1 Como se explica o fenótipo para cor de pele em humanos a partir de argumentos fundamentados no senso comum? E como se faz o mesmo a partir da TCH?
Ec 4.3 Qual foi a importância das análises quantitativas nos trabalhos realizados no início do século XX pelo grupo de pesquisa liderado por Thomas Morgan?
Ec 5.2 Apesar da grande importância das drosófilas no meio científico, atualmente existem organismo modelos mais adequados para serem usados em pesquisas no campo da Genética e outros relacionados?
Ec 6.1 É como a utilização da expressão "puxar" para se referir à hereditariedade de características biológicas em uma família. Como a TCH auxilia pode auxiliar no entendimento sobre o significado dessa expressão popular, nesse contexto?

Fonte: o autor da tese.

Como terceira sugestão, tem-se a possibilidade da utilização de algum material (texto ou vídeo), que apresente a temática em questão, por meio de linguagem menos técnica, com exemplos mais palpáveis e facilmente relacionáveis à vida cotidiana das pessoas, ou que trate de "curiosidades" referentes às drosófilas. Tem-se como exemplo o texto *"Nada de ratinhos: foi uma mosca que ganhou seis prêmios Nobel – conheça a Drosophila melanogaster e entenda como ela foi de inseto doméstico a rainha dos laboratórios."*, matéria publicada no site da revista Super Interessante em 11 de outubro de 2017, de autoria de Bruno Vaiano.

Após apresentação da(s) questão(ões), o(a) professor(a) devem solicitar aos(às) estudantes que discutam sobre o que foi apresentado e em seguida, apontarem temas de pesquisas a serem feitas para que consigam fundamentar seus argumentos. Nesse processo é interessante que o(a) professor(a) circule pelos grupos para avaliar o desenvolvimento da atividade e garantir que as discussões estejam sendo feitas de maneira adequada. Também podem estimular os(as) estudantes dando-lhes sugestões sobre como organizarem a discussão.

Finalizadas as discussões iniciais, o(a) professor(a) de solicitar aos grupos que apresentem suas conclusões e em seguida, conduz a análise coletiva do que foi apresentado, afim de selecionar tópicos ou perguntas específicas que a turma toda utilizará para nortear suas pesquisas. Posteriormente, é pedido que os grupos base dividam entre seus membros esses tópicos ou perguntas, modo que todos(as) integrantes sejam responsáveis pela pesquisa se um daqueles. Uma vez tal divisão feita, dá-se início a formação dos *grupos de especialistas*.

Assim, os grupos base são temporariamente desfeitos e os(as) estudantes passam a se agrupar de acordo com o tópico ou pergunta escolhida por cada um(a). Dessa forma, serão formados os grupos de especialista, que conjuntamente pesquisarão sobre o mesmo tema. Inicia-se assim a primeira tarefa a ser realizada, com a organização da pesquisa a ser feita. Os grupos especialistas deverão se organizar para que a pesquisa sobre o tema escolhido seja a mais completa possível. Nessa etapa o(a) professor(a) também deve ajudar os grupos de especialistas a definirem como farão tais pesquisas e o que exatamente deverão enfatizar. Sugere-se que essa tarefa tenha parte feita em sala de aula e parte feita ao longo de alguns dias ou semanas, até aula futura.

Na sequência das atividades, os grupos especialistas devem se reorganizar e apresentar ao(à) professor(a) o produto de suas pesquisas. Por ser parte intermediária do processo, esse material pode ser organizado em tópicos, frases ou palavras-chave, de modo que não demandem tanto tempo para organização, mas auxiliem de forma eficiente no relato.

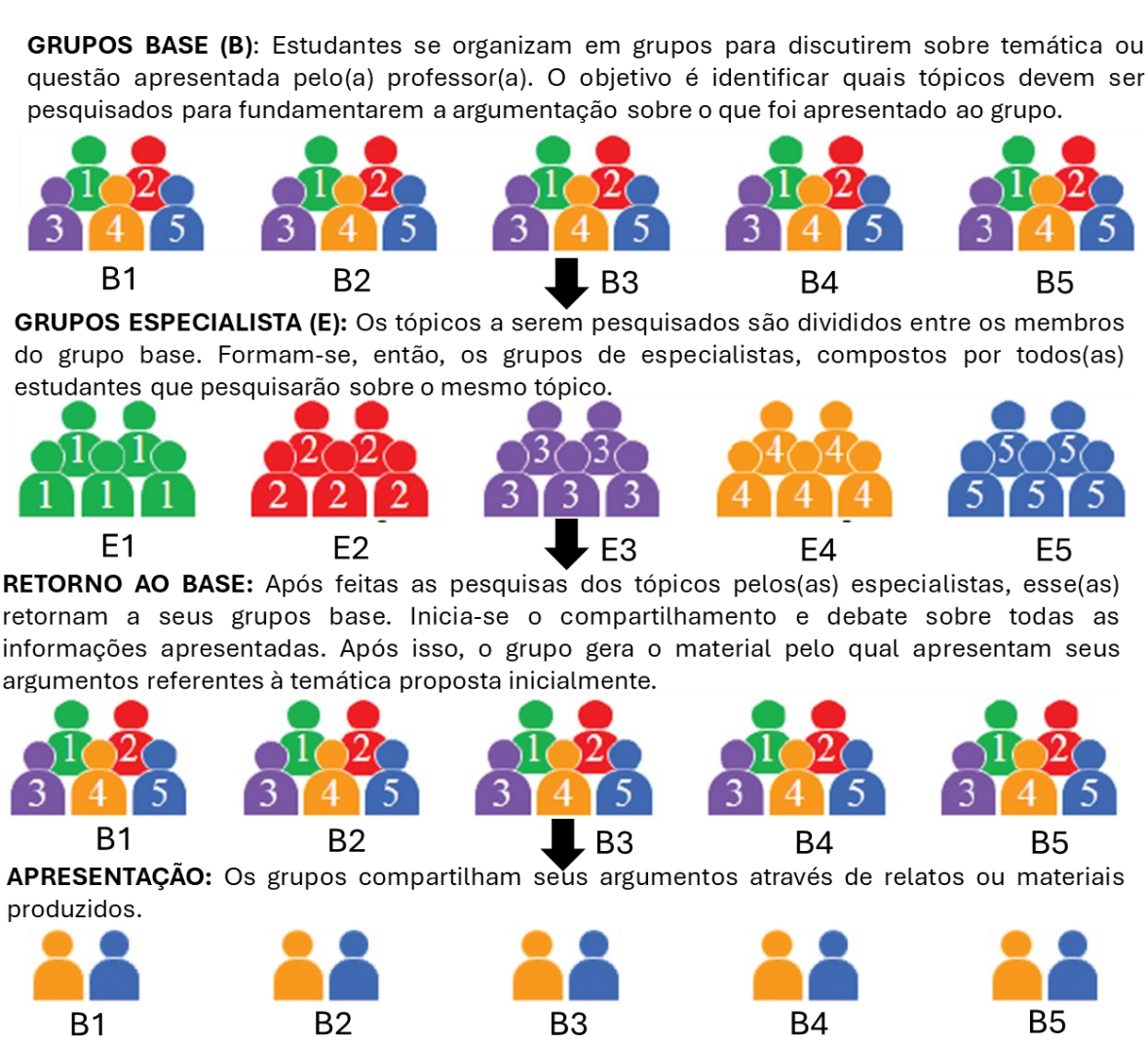
Finalizada a etapa dos especialistas, os(as) voltam a reorganizar os grupos base. Nessa etapa cada membro compartilhará o que foi discutido na etapa de especialistas, a fim de que ao final dessa rodada, o grupo identifique pontos

complementares, oposições, sobreposições e demandas por novas informações, para que consigam fundamentar a produção do material final.

A segunda tarefa consiste na produção de um material textual pelos grupos base, integrando e analisando todo o conjunto de informações apuradas, de maneira a explicar / responder os tópicos ou perguntas inicias. Sugere-se que esses materiais sejam compartilhados entre os grupos, de maneira que todos(as) tenha acesso às respostas dos(as) colegas. Por fim, após apresentação do material, os grupos base discutem sobre os pontos positivos e negativos dos seus trabalhos, com o intuito de analisar práticas a serem repetidas e alteradas nas próximas atividades cooperativas. A figura 4 a seguir representa as etapas da proposta didática.

Uma alternativa à atividade sugestão anterior é a separação de grupos especialistas de acordo com temáticas propostas pelo(a) professor(a), de maneira a orientar a discussão dos episódios da HC, contemplando aspectos da NdC. No caso da temática em questão nesta tese, sugere-se a divisão de 3 (três) temáticas “especialistas”: (I) as pesquisas citológicas relacionadas à TCH, (II) as pesquisas sobre hereditariedade envolvendo cruzamentos, especificamente aquelas realizadas pelos grupos liderados por Thomas Morgan e William Bateson; e (III) as pesquisas envolvendo os cromossomos sexuais. Acredita-se que esses três eixos integrariam os episódios da HC significativos à proposição e consolidação da TCH, sendo que todos podem (e devem) ser amplamente explorados quanto aspectos da NdC.

Figura 4: Esquema representativo das etapas da proposta didática.



Fonte: Adaptada de Fatareli *et al*. (2010).[45]

[45] FATARELI, E. F., FERREIRA, L. D. A., FERREIRA, J. Q., & QUEIROZ, S. L. Método cooperativo de aprendizagem Jigsaw no ensino de cinética química. *Química nova na escola*, *32*(3), 161-168. (2010).

5.5 Análise fílmica para avaliação de aspectos da NdC relacionados a episódios da HC abordados pela narrativa.

De acordo com a literatura científica da área de ensino e educação, a utilização de estratégias didáticas envolvendo filmes, já consolidada como prática recorrente nas escolas de educação básica, vem ganhando espaço na produção acadêmica quanto à análise do potencial didático, questões relacionadas às condições de utilização, fundamentação teórica, propostas e sugestões de recursos didáticos envolvendo diferentes contextos e temáticas, além do apontamento de críticas e cuidados quanto à adoção em sala de aula (MORÁN, 1995; NAPOLITANO, 2003; ARROIO, 2010; CARRERA & ARROIO, 2011; SCHEID, 2013; SILVA & de MELLO MATTOS, 2022). Destaca-se aqui os apontamentos significativos que tais pesquisas fazem sobre a utilização de filmes com parte de estratégias didáticas voltadas à abordagem de aspectos da NdC e da HC.

Em recente pesquisa de revisão bibliográfica, Silva e de Mello Mattos (2022) analisaram trabalhos nacionais sobre ensino de Biologia na perspectiva da NdC. De acordo com os autores, esses têm sido menos frequente e mais equivocados conceitualmente do que aqueles relacionados a outras áreas de ensino, como Química e Física. Ao relatarem sobre trabalhos que tiveram filmes como estratégias didáticas, apontaram potencialidade quanto à abordagem de episódios da HC, concepções sobre Ciência, e questões sóciocientíficas como determinismo genético e eugenia. Também ressaltaram sobre a identificação dos filmes como elementos recorrentes da vida cotidiana dos(as) estudantes, acarretando aumento no interesse e envolvimento com as atividades didáticas. De acordo com Napolitano (2003), o cinema é parte da cultura dos(as) estudantes e relaciona-se diretamente ao entretenimento e prazer.

Por outro lado, a potencialidade didático-pedagógica associada ao interesse do público estudantil pelos filmes pode ser afetada justamente pelas abordagens pouco educacionais e mais lúdicas. Morán (1995) aponta algumas dificuldades com: a utilização de filmes em aulas como alternativas a alterações no planejamento pedagógico; a pouco ligação ou correspondência do filme utilizado com os conteúdos a serem abordados nas aulas; ou ainda, a utilização massiva desse recurso em detrimento de outros. Segundo o autor, alguns desses desafios decorrem da ausência de discussões sobre esse tipo de estratégia didática durante a formação profissional

docente. Por fim, questões estruturais também se apresentam, dificultando o acesso ao material, ou ainda, às condições mínimas para utilização em sala de aula.

A utilização de filmes como recursos didáticos demanda alguns cuidados específicos durante o planejamento das atividades. Além das questões estruturais, o tempo de duração do filme deve ser compatível com o tempo disponível para as aulas, e dentro dessas, o tempo adequado para se abordar os conteúdos relacionados com os filmes. Há também cuidados em relação ao tipo de material utilizado. Por muitas vezes não se tratarem de materiais com objetivos didático-pedagógicos, os filmes podem apresentar cenas, linguagem, ou abordar temas que sejam inadequados ao público escolar. Nesse sentido ainda, para que se tente garantir o caráter educacional da atividade, o contexto e os conteúdos abordados nos filmes devem ser fundamentados por meio de leituras, pesquisas, exposições em aula, e demais recursos didáticos que tornem clara a contribuição dos filmes no cumprimento dos objetivos (NAPOLITANO, 2003)

Outro ponto relevante é o gênero do filme a ser utilizado como recurso didático. Grande parte dessas obras apresentam dramatizações e narrativas romanceadas, como elementos para envolver e sensibilizar o público. No caso do ensino de Ciências, tanto obras biográficas como de ficção científica podem conter alguns desses elementos, gerando distorções, simplificações ou até erros conceituais. Por outro lado, a depender da forma como o enredo é apresentado, podem exemplificar aspectos da NdC, auxiliando na desmistificação e superação de concepções ingênuas sobre a Ciência, como a neutralidade científica, a desinteresse econômico, a singularidade dos cientistas e a individualidade nos processos de construção do conhecimento científico (MORÁN, 1995; ARROIO, 2010; SCHEID, 2013; FARIA *et. al*., 2015; ALVARENGA & COLAGRANDE, 2021).

Em pesquisa sobre a contribuição de produções audiovisuais par o ensino de Ciências, a parte da HC, Rezende (2008) identifica 3 (três) diferentes abordagens historiográficas presentes nesses materiais e discorre sobre as potencialidades e limites apresentadas por cada uma, em relação à adoção daqueles materiais como recursos didáticos. Parra esse autor, é importante que os(as) professores(as) tenham em mente que filmes de ficção científica e documentários não são documentos historiográficos, mas sim, formas de se apresentar enredos com conteúdo histórico.

São “versões da História” e cabe aos(às) professores(as) identificar os elementos que sejam significativos em vista dos objetivos didáticos.

Segundo Resende (2008), a abordagem factual dos episódios da HC tem caráter descritivo. Informações biográficas, datas, conceitos, etc., são apresentados de forma “retrospectiva”. Porém, o autor chama a atenção para o cuidado com projeções de concepções presentes que são feitas em uma ideia de passada. Para ele, esses materiais cumprem a função de contextualização e introdução de conceitos, e não devem ser interpretados (ou utilizados) como *“reproduções fiéis de fatos históricos”.* Ainda de acordo com Resende (2008), as histórias epistemológicas da Ciência apresentam a ideia de busca pela verdade, marcada pela ideia de progresso inerente trabalho de criação do conhecimento científico. Portanto, essas histórias buscar explicar a dinâmica desse processo de busca. Segundo o autor, filmes que apresentam essa abordagem podem ser utilizados por professores(as) com o objetivo de estabelecer comparações entre concepções passadas e contemporâneas.

A terceira abordagem, de acordo com Resende (2008), são as histórias arqueológicas da Ciência, que desvinculam a noção de progresso científico e buscam evidenciar as condições de produção do conhecimento científico, em vista do contexto em que ocorria. Sendo assim, o autor apresenta a potencialidade desse tipo de recurso em abordar questões CTSA e algo que nesta tese associa-se também à NdC.

5.5.1 Proposta didática em relação ao filme “The Fly Room”.

Tendo-se em vista os objetivos desta tese, esta sugestão de estratégia didática fundamenta-se na utilização de um filme como recurso didático, com vistas à discussão e aprendizagem dos conteúdos de NdC por meio dos episódios da HC. Nesse sentido, o principal objeto de análise será o conteúdo apresentado pelo filme, deixando-se de lado aspectos relativos à produção, como fotografia, trilha sonora e etc.

A obra escolhida foi *“The Fly Room”*, lançada em outubro de 2014 e dirigida por Alexis Gambis. No período de elaboração desta tese a versão legendada para português se encontra disponível para acesso gratuito através de plataformas digitais de domínio público, como YouTube. Também é possível aluga-lo ou compra-lo por meio de outras plataformas digitais, sendo os valores considerados bastante acessíveis, o que colabora para que seja usada como recurso didático. Por se tratar

de uma narrativa romanceada, e também em vista dos objetivos que aqui se apresentam, serão analisados os conteúdos relativos a aspectos sociais, históricos e comportamentais das personagens, conforme refletirem aspectos significativos da NdC que contribuam para a discussão dos mesmos. Portanto, a proposta não se aterá apenas aos elementos diretamente relacionados aos conceitos científicos.

Como atividades anteriores à apresentação do filme, sugere-se que aulas e atividades didáticas relacionadas à temática em questão sejam realizadas com os(as) estudantes, a fim de estabelecer relação entre os conteúdos educacionais e a narrativa apresentada pelo filme. Portanto, é importante já se tenha trabalhado sobre os princípios mendelianos, a relação entre genes e cromossomos, e os trabalhos com drosófilas realizados por Thomas Morgan e seus colaboradores,

Após essas atividades, sugere-se a sensibilização dos(as) estudantes por meio de questões que direcionem sua para os aspectos da NdC que se pretende trabalhar por meio desta estratégia didática. Assim, propõe-se a utilização de questões do quadro___, sendo contemplados os eixos sócio-histórico (SH) e epistemológico (E). Também é possível que o(a) professor(a) apresentem questões que julgue pertinentes aos propósitos apresentados anteriormente, a partir de sua interpretação do filme e dos episódios da HC retratados nele. A seguir apresenta-se algumas sugestões de questões.

Após discussões iniciais sobre as questões propostas anteriormente, é fundamental que os(as) estudantes sejam apresentados a um relato prévio sobre o filme, como uma sinopse composta por informações que facilitem a contextualização da narrativa em relação aos conteúdos estudados anteriormente à apresentação dela. Também é importante que sejam apresentadas informações mais específicas sobre o pesquisador Calvin Bridges, visto que ele é uma das personagens centrais do filme e nele são feitas algumas referências a detalhes de sua vida pessoal. Como material anexo encontram-se o texto de apresentação do filme, produzido pelo autor desta tese, e um texto biográfico sobre Calvin Bridges (GLEASON, 2019), disponível em inglês no site da Universidade do Estado do Arizona e traduzido livremente pelo autor desta tese.

Quadro 8: Sugestões de perguntas a serem feitas anteriormente à apresentação e análise do filme.

SH 1.2 O grupo de Morgan foi o primeiro a utilizar drosófilas em pesquisas envolvendo hereditariedade?
SH 1.3 Quais pesquisadores já realizavam trabalhos de pesquisa com drosófilas envolvendo hereditariedade?
SH 1.4 Quais as colaborações de Bridges, Sturtevant e Miller para a TCH?
SH 1.5 Bridges, Sturtevant e Miller foram os únicos orientados de Morgan a contribuíram com o trabalho sobre TCH envolvendo drosófilas?
SH 2.5 Como ocorreu a descoberta da "mosca white"?
SH 2.6 Qual foi a importância dessa descoberta para as pesquisas sobre hereditariedade envolvendo drosófilas?
SH 4.1 Assim como grande parte dos cientistas de seu tempo, Thomas Morgan trabalhou com inúmeras espécies animais ao longo de sua carreira. Sua escolha por drosófilas foi antecedida pela tentativa em realizar tais pesquisas utilizando coelhos e outras espécies mais comuns no meio acadêmico da época. Explique a razão pela qual Morgan não conseguiu realizar suas pesquisas por meio de cruzamentos entre coelhos e como isso se relacionou com sua opção por drosófilas.
SH 8.2 Como eram as técnicas utilizadas no início do século XX para o cultivo e experimentação com as drosófilas?
Ea 1.3 Como as drosófilas foram escolhidas para serem organismo modelo nos experimentos envolvendo hereditariedade, realizados no início do século XX?
Ea 2.2 Quais conhecimentos (conceitos) fundamentaram a interpretação dos resultados obtidos a partir dos primeiros cruzamentos feitos com drosófila pelo grupo de pesquisa liderado por Thomas Morgan?
Ea 2.5 Como a TCH influenciou novas interpretações dos princípios apresentados no século XIX por Charles Darwin e Alfred Wallace sobre adaptação e evolução dos seres vivos?
Ea 4.3 Como os biometristas do início do século XX entenderam as variações genéticas estudadas naquele período?
Eb 1.1 Quais vantagens as drosófilas apresentavam, enquanto organismo modelo para pesquisas envolvendo hereditariedade, em termos de volume de resultados gerados a partir dos cruzamentos?
Eb 1.5 De que forma Alfred H. Sturtevant interpretou os dados provenientes dos cruzamentos de drosófilas, para relacionar os genes aos cromossomos, propondo um modelo de mapa cromossômico?
Eb 1.7 Por que os pesquisadores do grupo liderado por Thomas Morgan cultivavam drosófilas em laboratório, ao invés de utilizarem em seus experimentos insetos provenientes do meio ambiente?
Eb 8.1 Explique a analogia entre as primeiras propostas de mapas cromossômicos e um colar de contas.
Ec 5.1 Atualmente ainda são feitas pesquisas no campo da Genética e em outros relacionados que utilizam drosófilas como organismo modelo?
Ec 6.1 É como a utilização da expressão "puxar" para se referir à hereditariedade de características biológicas em uma família. Como a TCH auxilia pode auxiliar no entendimento sobre o significado dessa expressão popular, nesse contexto?
Ec 7.2 Como a microscopia possibilitou a proposição da hipótese cromossômica da herança, e como a consolidação da TCH contribuiu para o avanço da microscopia?

Fonte: o autro da tese.

Posteriormente à abordagem dos textos anteriores, que pode ser feita coletivamente pela turma em sala de aula, ou fazer parte de tarefas e atividades solicitadas pelo(a) professor(a), deve-se realizar conjuntamente com os(as) estudantes a discussão sobre o *roteiro para análise fílmica* da obra em questão. A utilização desse roteiro visa orientar a percepção de detalhes e informações específica que auxiliarão na compreensão sobre aspectos da NdC retratados no filme. Ao se enfatizar antecipadamente trechos, falas, ações, etc, presentes na narrativa, indica-se aos(às) estudantes que a atividade didática não se encerrará ao final da apresentação e que o filme não se trata apenas de um recurso para entretenimento, mas sim de uma fonte de informação para fundamentar algo que será construído por eles(as) posteriormente. Esse trabalho anterior à apresentação do filme é fundamental

para que a atividade apresente caráter didático-pedagógico e não apensas lúdico (MORÁN, 1995; NAPOLITANO, 2003; ALVARENGA & COLAGRANDE, 2021).

5.5.2 Roteiro para análise fílmica da obra "The Fly Room".

Esse roteiro contém orientações e perguntas que deverão ser apresentadas aos(às) estudantes antes que eles(as) assistam ao filme. As respostas às questões serão analisadas e compartilhadas em aula posterior à apresentação da obra. Sugere-se que o roteiro seja utilizado tanto para explicação prévia da atividade, como posteriormente, para a condução da discussão conjunta sobre o filme.

A elaboração do roteiro foi fundamentada nos eixos sócio-histórico (SH) e epistemológico (E) discutidos anteriormente nesta tese. Selecionou-se perguntas do Quadro 4 e a partir delas, foram formuladas orientações de análise e novas perguntas que dialogassem mais especificamente com a narrativa do filme. O material apresenta-se anexo à tese.

Após análise e discussão sobre o filme, sugere-se que seja solicitado aos(às) alunos a produção de algum material a ser avaliado pelo(a) professor(a). São opções a produção de texto, de material digital, respostas às questões iniciais e do roteiro de análise fílmica, registro das discussões realizadas coletivamente, entre outros.

Uma atividade alternativa para avaliação seria a solicitação de um roteiro fílmico, no qual os(as) estudantes incluíssem elementos narrativos que julguem faltar no filme original, como novas personagens, sugestões de cenas e diálogos, temas não mencionados, ou ainda, novas abordagens daqueles explorados no filme. A seguir algumas sugestões:

- Explorar mais detalhas das moscas drosófilas, como os primeiros contatos com o novo organismo modelo, ou as vantagens de serem utilizadas nesse tipo de pesquisa;
- Detalhamento das relações entre Thomas Morgan e os outros pesquisadores;
- A participação de Edmund B. Wilson e Nettie Stevens, por meio dos trabalhos com cromossomos sexuais;

- Influências sociais, políticas e econômicas da Primeira e Segunda Guerras Mundiais;
- Embates científicos envolvendo eugenistas, biometristas e evolucionistas;
- A influência dos trabalhos com radioatividade desenvolvidos à época por Marie Curie e seus contemporâneos;
- A mudança na interpretação teórica dos fatos científicos por parte de Thomas Morgan entre 1900 e 1935.

Finalmente, ressalta-se que cabe ao(à) professor(a) adequar a condução das atividades, de modo a atender produtivamente às demandas específicas de cada turma. A análise prévia do roteiro, com a apresentação do filme poder ser feitas conjuntamente em sala de aula, ou serem organizadas como tarefa para o período entre os encontros (extraclasse). Tais decisões devem ser ajustadas conforme as condições estruturais da escola, disponibilidade de tempo, público alvo, etc.

Quadro 9: Proposta de roteiro de análise fílmica para o filme “The Fly Room”. Informações sobre as cenas, as ações a serem realizadas pelos(as) estudantes e a relação com o quadro 4, orientador da abordagem sobre NdC.

Descrição da cena	Tempo de início da cena	Ação (instrução ou pergunta)	Código das questões do quadro___ que orientaram a ação
Fala inicial de Betsy	00:00:49	Atente para a forma como Betsy fala sobre seu pai	
Bridges e Müller falam sobre mutações	00:04:54	Repare no esboço do mapa cromossômico	
Aparição de Edmund B. Wilson	00:07:55	1. Quem foi Edmund B. Wilson?	**SH 01** Ea 04
Conversa entre os cientistas	00:09:45	Sturtevant fala em frequência de recombinação	
Morgan manuseando as moscas	00:10:37	Repare no "microscópio" antigo	
Primeira cena de Edith Wallace	00:11:59	2. Qual era o trabalho de Edith Wallace?	**SH 4.6**
Bridges fala sobre Canton-S	00:14:21	3. O que é Canton-S?	Ea 5.1 **SH 9.2**
Família Morgan no jardim	00:17:13	4. Como Lilian Morgan é retratada no filme?	**SH 4.4** **SH 4.6**
Betsy ameaça seu pai	00:21:22	Repare construção da personagem Betsy	
Manipulação de drosófilas no laboratório	00:23:52	5. Como eram cultivadas as moscas?	**SH 8.2** **SH 8.3**
		6. Havia hierarquia de posições no laboratório? Quais eram as funções?	**SH 1.5** **SH 4.6**
		7. Como era o conhecimento de Bridges sobre o cultivo?	**SH 8.2** **SH 8.3**
Betsy tira foto de Müller e o elogia	00:26:49	Repare no comportamento vaidoso de Müller	
Betsy fala com Sturtevant	00:27:36	Observe Betsy constrange Sturtevant pois ele disse que estava trabalhando, quando não estava	
		8. Como era o trabalho desenvolvido pelos cientistas?	**SH 4.6** Eb 9.1

		Repare que Sturtevante se mostra incomodado com a pergunta sobre ser daltônico.					
Bridges e Betsy "trabalhando" no laboratório	00:30:09	9.Como a tecnologia da época é retratada no filme?	**SH 3.3**	Ec 7.2	Ec 7.6		
		10.Como eram as técnicas de análise? Elas são utilizadas até hoje?	**SH 8.4**	Eb 10.2	Ec 7.3		
		Repare como Betsy busca a aceitação do pai tentando mostrar para ele o que ela entende sobre Genética. Parece repetir coisas sem entender completamente.					
		Repare na fala de Bridges sobre o equipamento ser caro.					
		11. Como é retratado o laboratório científico?	Ea 01				
		Repare na "brincadeira" que Bridges faz com Sturtevant ao insinuar sobre ele ser virgem.					
		12. Como os cientistas são retratados no filme?	**SH 1.4**	Ea 01			
Explicação sobre o "totem" ao jornalista	00:35:56	13. O que era o Totem? Como Bridges e Sturtevant o explicaram ao jornalista?	**SH 1.4**	Ea 01	Eb 9.1	Eb 2.2	Ec 3.3
		14. Existe referência ao movimento eugenista? Qual parece ser a opinião de Bridges e Sturtevant sobre esse assunto?	**SH 4.2**	**SH 7.3**	Ea 2.5	Ea 4.3	
		15. São feitas referências a mutações, crossing-over, linkage e aos mapas cromossômicos? Apresente exemplos do filme.	**SH 1.4**	**SH 1.6**	**SH 8.7**	Eb 2.2	Ec 3.3
		16. Quem foi John Scoops?	**SH 04**	Ea 2.5			
		17. Apresente exemplos de cenas que retratem questões associadas a relação entre religião e Ciência.	**SH 04**	Ea 2.5			

Bridges briga com "estagiários"	00:41:44	18. Qual foi o erro dos estagiários e por que Bridges ficou tão revoltado com eles?	Eb 1.6 Eb 1.7
Bridges e Betsy conversam após dançarem	00:50:46	Repare nos elementos da vida pessoal da personagem Bridges (Elementos biográficos).	
Bridges e amigos no bar	00:58:08	Atente para a explicação de Bridges sobre a influência dos fatores ambientais sobre as características genéticas.	
Betsy explica Genética a Charlie	00:59:38	19. Comente sobre a forma como Betsy explica Genética a Charlie.	Eb 6.1 Ec 6.1
Moscas cruzando	01:03:00	20. Durante certa de 2 (dois) minutos, as cenas destacam o comportamento de Betsy e Bridges. Por que após isso ocorre uma cena em que duas moscas cruzam?	
Monólogo de Bridges	01:11:30	Bridges começa a descrever caso genético específico em que características ligadas aos cromossomos sexuais dos machos não são passadas para as moscas fêmeas.	
Betsy encontra recorte de jornal	01:15:15	21. Betsy encontra recorte antigo de jornal. O que diz a reportagem?	**SH 4.2** **SH 7.3** Ea 4.3
		22. O filme faz referência à divulgação dos trabalhos científicos?	**SH 6.1**
		23. Algum conflito científico é retratado?	**SH 4.2** **SH 7.1** **SH 7.3** **Ea 4.3**
Final do filme	01:18:05	24. O filme fala sobre a importância e as consequências dos trabalhos feito pelo grupo de pesquisa de Morgan? Aponte um trecho em que isso ocorre.	**SH 1.7** Ea 1.7
		25. O filme retrata alguma dúvida, insegurança, incerteza ou erro associado ao trabalho dos cientistas?	**SH 06** Ea 04
		26. Há algum destaque especial às moscas como "cobaias" (organismo modelo)?	**SH 1.1** **SH 1.2** **SH 4.1** Ea 1.3 Eb 1.1

		27. Comente as frases apresentadas ao final: "Há cem anos atrás..." e sobre "revelarem o poder da Genética"	
		28. Descreva a relação de Bridges e Betsy	

Fonte: o autor da tese.

5.6 Estratégia didática fundamentada em Aprendizagem Baseada em Problema (ABP) – *Problem Based Learning (PBL)* – para o ensino de NdC a partir de episódios da HC.

Como já apresentado anteriormente, estratégias didáticas baseadas em investigações feitas pelos(as) estudantes possibilitam o envolvimento ativo com o próprio processo de aprendizagem, além de poderem aproximar a realidade cotidiana de aspectos fundamentais da atividade científica. Allchin e colaboradores (2014) discutiram sobre pontos significativos desse tipo de estratégia didática, enfatizando os esforços dos(as) estudantes na identificação de problemas de pesquisa, proposição de questões a serem investigadas, na planificação das ações, na geração e análise dos dados, como também, na produção de conclusões a partir do trabalho realizado.

Esses autores afirmaram ser possível que tais investigações serem realizadas individual ou coletivamente, mas que em qualquer dos casos, o(a) professor(a) tem participação fundamental no planejamento, articulação e orientação dos trabalhos. Sem essa participação, as investigações podem se tornar uma tarefa complexa e infrutífera para os(as) estudantes, especialmente em relação à percepção dos processos da Ciência (ALLCHIN, ANDERSEN & NIELSEN, 2014).

Nesse sentindo, a *Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP)* configura-se como uma significativa metodologia para o ensino da NdC, na perspectiva apresentada anteriormente. Essa metodologia é fundamentada no protagonismo dos(as) estudantes, que se envolvem em investigações colaborativas sobre questões interdisciplinares consideradas por eles(as) como problemas, e que, portanto, demandam soluções (BERBEL, 1998).

Essa metodologia foi originalmente desenvolvida para ser utilizada no Ensino Superior. No Brasil, passou a ser adotada em cursos superiores da área de saúde, a partir da década de 1990, justamente pelas características específicas de algumas atividades profissionais daquela área, como a medicina e a enfermagem Ela é fundamentada principalmente pelo tratamento de questões emergentes ou situações que provocam conflito de compreensão, o que requer a contribuição de várias áreas do conhecimento para a compreensão mais aprofundada do problema e sua investigação. Esta alternativa é basicamente vinculada à pesquisa colaborativa, à investigação de saberes convergentes das diferentes áreas do conhecimento e à apresentação de alternativas de intervenção ou resolução (RIBEIRO, 2010).

A adaptação da ABP ao ensino básico no Brasil vem sendo foco de pesquisas realizadas nas últimas décadas (ANDRADE, 2007; ANDRADE & CAMPOS, 2009; SANTOS, 2010; QUEIROZ, 2012; LIMA, 2015; CASTRO & FERREIRA; RIBEIRO, 2022; SANTOS, 2024). Segundo Andrade (2022), essa metodologia possibilita que esses(as) estudantes se envolvam com a cultura científica, de maneira a perceber diversos aspectos da NdC.

Apesar disso, por envolver a autonomia do(a) estudante em relação ao próprio processo de aprendizagem, a adaptação da ABP ao ensino básico enfrenta desafios em relação ao público, às condições e à demanda de tempo para sua aplicação. Andrade (2022) aponta que esse tipo de metodologia, assim como também observado no Ensino Superior, deve fazer parte de um programa de ensino que contemple outras metodologias e estratégias didáticas, visto que pluralismo metodológico tende a favorecer a superação daqueles desafios. Dessa forma, a autora aponta que a ABP não deve ser adotada para todo o currículo, mas sim como parte de estratégias didáticas planejadas, com vistas à contextualização dos conteúdos abordados.

Ainda assim, todas aquelas pesquisas citadas anteriormente sobre adaptação da ABP ao ensino básico brasileiro apresentaram resultados e perspectivas positivas sobre a utilização dessa metodologia. Como exemplo, tem-se os resultados positivos apresentados por Viana e da Silva (2022), quanto ao interesse, participação e aprendizagem dos(as) estudantes, a partir de da adoção de estratégia didática fundamentada em ABP para o ensino de Genética no EM.

Nesse trabalho, Viana e da Silva (2022) ressaltaram um aspecto fundamental da metodologia, reiterado pela literatura: a participação docente. Os (As) professores(as) devem atuar como “tutores” (“facilitadores”), de maneira a orientar as investigações dos estudantes, porém sem fornecer-lhes respostas prontas ou “gabaritos” com indicações do que devem fazer. Esse tipo de ação docente é algo bastante diferente da perspectiva tradicional, portanto, demanda esforços quanto à formação profissional. Isso apresenta-se como um desafio, visto que incertezas e inseguranças podem se refletir na resistência à utilização da metodologia, por parte dos(as) professores(as) (BERBEL, 1998; ANDRADE, 2007; RIBEIRO, 2010). Essa situação ratifica a importância de materiais e propostas didáticas, tais como esta tese, que possam orientar a ação docente no sentido da superação tais desafios e, consequentemente, na ampliação do repertório técnico e metodológico.

De acordo com Ribeiro (2010), o desenvolvimento da ABP enquanto metodologia de ensino organiza-se a partir de algumas etapas principais. A primeira é a *apresentação do problema*. Nessa etapa a ação docente se ocupa de maneira significativa com a elaboração, proposição e condução das discussões sobre o problema, de acordo com os objetivos que se pretende cumprir. Para que uma situação se configure como um problema efetivo, ela deve ser reconhecida pelos(as) estudantes como tal, ou seja, é necessário que ocorra envolvimento (se diria até um certo "incômodo") por parte desses(as), de maneira a atribuírem significância na resolução da questão posta. Esses problemas, que podem ser de natureza real ou hipotética (SANTOS, 2010), e também podem ser classificados de acordo com o tipo de solução que demandam (aberta ou fechada), de estratégias para resolução (aplicação direta, algorítmica, heurística ou problemas específicos), e da natureza dos dados trabalhados (quantitativa, qualitativa ou ambas) (POZO, 1998[46]; PERALES, 2000[47] *apud* ANDRADE, 2022).

A segunda etapa consiste na *análise do problema* e a *proposição de hipóteses* para resolução. Nessa etapa os(as) estudantes utilizam seu repertório de saberes conceituais e práticos, formado a partir de experiências anteriores. É uma etapa em que os(as) professores(as) podem tomar contato com os conhecimentos prévios dos(as) estudantes, ou ainda, se já conhecidos, utilizá-los para o planejamento e condução das análises conjuntas sobre o problema. Segunda Andrade (2007), é importante que os(as) estudantes tenham conhecimento básico sobre os temas abordados, pois caso contrário, podem não atribuir significado ou importância ao problema, e não se comprometerem com sua resolução.

A terceira etapa é marcada pela *identificação dos conhecimentos necessários*, *organização dos trabalhos de investigação*, e *pesquisas sobre o tema*. Essa etapa da metodologia exige esforços dos(as) estudantes e dos(as) professores. Os (As) primeiros(as) devem trabalhar de forma autônoma, planejando e monitorando o próprio processo de aprendizagem. Nesse sentido, a ação discente exige habilidades metacognitivas dos sujeitos, de maneira que consigam redefinir conceitos e ampliar suas conexões conceituais. Observa-se aqui, referências cognitivistas e construtivistas na proposição da metodologia (MAMEDE, 2001; da ROSA & GHIGGI, 2018). Já os(as) últimos(as) devem orientar o trabalho dos(as) primeiros(as), de modo

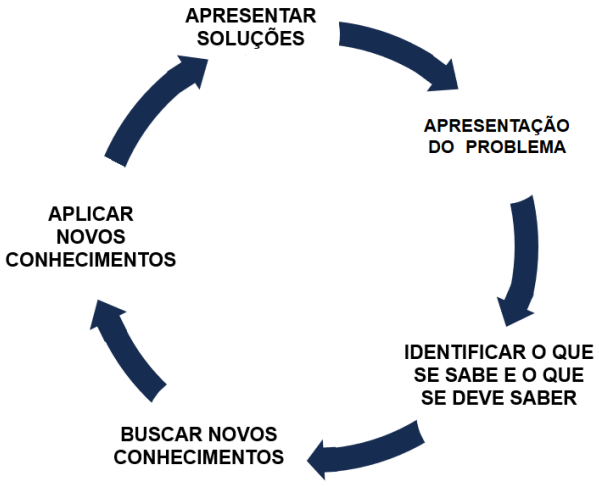
[46] POZO, J. I. (org). A solução de problemas: aprender a resolver, resolver para aprender. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1998.
[47] PERALES, F. J. Resolución de problemas. Madrid: Síntesis, 2000.

a conferir-lhes condições para que consigam se apropriar dos saberes necessários. Assim, é importante que os(as) professores(as) não apresentem informações ou respostas prontas às dúvidas dos(as) estudantes.

Na quarta etapa acontece o *compartilhamento das informações apuradas e dos conhecimentos adquiridos*, pois o grupo de estudantes é chamado a partilhar o que cada um(a) conseguiu aprender. Observa-se assim o processo de aprendizagem cooperativa (JOHNSON *et. al*., 1974, 1978 e 1984) entre os(as) estudantes, no qual eles(as) ensinam e aprendem com seus(as) colegas, de maneira que o sucesso de todo o grupo na resolução do problema, dependa dos esforços individuais. Além do compartilhamento de saberes, o grupo se envolve na *análise do problema*, em vista dos novos conhecimentos, de modo a *propor possíveis soluções* para o mesmo. Finalmente, a quinta etapa é marcada pelas *tentativas em se resolver o problema*, o que pode ser direcionado pela elaboração de “produtos”, como materiais escritos e digitais, apresentações, simulações, diagnósticos, etc., a serem *avaliados* pelos(as) professores(as), como também pelos(as) próprios(as) estudantes. (RIBEIRO, 2010).

Assim, por meio desses ciclos de aprendizagem fundamentados na ABP, entende-se ser possível a utilização de problemas que estimulem os(as) estudantes a aprenderem sobre NdC, especialmente por meio de episódios da HC.

Figura 5: Ciclo da ABP.



Fonte: o autor da tese, fundamentado em SANTOS (2010).

5.6.1 Proposta de sequência didática fundamentada em ABP para ensino de NdC a partir de episódios da HC.

A estratégia didática a seguir é fundamenta nos princípios básicos da ABP, conforme dissertado anteriormente, e ter por objetivo, estimular os(as) estudantes a conhecerem aspectos da NdC relacionados aos episódios da HC envolvidos na constituição das moscas drosófilas (*D. melanogaster*) como organismo modelo em pesquisas genéticas, principalmente em relação aos trabalhos “pioneiros” nessa questão, desenvolvidos no início do século XX.

Esta proposta deve se desenvolver a partir de 7 (sete) “momentos”, como descrito a seguir, de forma que a quantidade de aulas e o tempo destinado a cada atividade deverá ser estipulado pelo(a) professor(a) responsável, haja vista as peculiaridades e características de cada turma, e sendo esse(a) profissional a pessoa que tem melhores condições para articular todas as circunstâncias em questão. Serão feitas, portanto, sugestões e ficará a cargo do(a) professor(a) a decisão por adotá-las integralmente ou adaptá-las ao trabalho com as turmas.

No **1º (primeiro) momento** a turma será apresentada à temática do problema por meio da ***atividade disparadora***. Para isso tem-se diversas possibilidades como: leitura conjunta de texto, apreciação e discussão sobre filmes, documentários, situações simuladas, jogos, entre outras. O objetivo é apresentar a temática aos(às) estudantes, de maneira a despertar-lhes a curiosidade por ela. Sugere-se aqui a leitura coletiva do texto jornalístico *“Nada de ratinhos: foi uma mosca que ganhou seis prêmios Nobel.”* (VAIANO, 2010), anexo à tese.

Após a leitura, os(as) estudantes deverão elaborar uma **narrativa** contendo suas impressões sobre o disparador, de maneira a estimulá-los(as) a organizarem suas ideias sobre o que foi apresentado. Posteriormente, a turma será convidada a partilhar suas impressões, trazendo à tona comentários, dúvidas, ou mesmo curiosidades sobre a temática. Nesse momento os conhecimentos prévios serão (indiretamente) apresentados, como também, os aspectos da temática que poderão se configurar como um problema significativo para os(as) estudantes.

Conforme os comentários e dúvidas forem compartilhados, o(a) professor(a) deverá anotá-los em lousa e auxiliar na organização das ideias que forem apresentadas. Após essas primeiras manifestações, sugere-se que coletivamente ocorra uma categorização das informações, de modo a possibilitar a **elaboração de**

perguntas que abranjam o máximo daquilo que foi compartilhado até então. O número de perguntas definirá a quantidade de grupos de pesquisa que serão formados. Sugere-se no mínimo 2 (duas) perguntas para turmas pequenas e 4 (quatro) para turmas muito grandes, sendo 3 (três) o número mais adequado para turmas de até 40 (quarenta) estudantes. Estabelecidas as perguntas, a turma é dividida em **grupos de pesquisa**, sendo que cada grupo será responsável por responder uma pergunta. Finalmente, com intermédio do(as) professor, a turma chega ao consenso sobre a **definição do problema** que resume toda a discussão até então.

No caso da temática em questão nesta tese, sugere-se aos(às) professores(as) que estimulem as discussões em função dos eixos para discussão de NdC, apresentado anteriormente no quardo___. Dessa forma, busca-se garantir que tais aspectos farão parte do problema apontado pela turma. Por se tratar de uma atividade "aberta"[48], não se tem o total controle sobre qual problema será definido, porém, é interessante que os(as) professores poderão influenciem a turma para a escolha de um problema diretamente relacionado à escolha e constituição das drosófilas como organismo modelo. Portanto, pode-se dizer que esta se trata de uma atividade "semiaberta".

No **2º (segundo) momento** os grupos **iniciarão suas primeiras pesquisas** para responderem às perguntas específicas de cada um. Espera-se que nesse momento o(a) professor(a) auxilie a organização interna do grupo, orientando os(as) estudantes a definirem metas, prazos, tópicos e subtópicos a serem pesquisados. Também cabe a orientação quanto aos recursos e fontes de informação a serem utilizados. Esta é a etapa do trabalho em que os(as) estudantes devem ser estimulados a assumirem postura autônoma em relação ao trabalho. Comentários e reforços positivos por parte do(a) professor(a) podem estimular o interesse e curiosidade dos(as) estudantes, sendo esses dois fatores de grande importância dentro da metodologia proposta. Neste momento inicia-se o trabalho de **"facilitação"** do(a) professor(a), que se estenderá até o final das atividades. É o processo de mediação de debates entre os(as) estudantes de cada grupo sobre suas considerações a respeito do trabalho. Os objetivos dessa são: esclarecer dúvidas mais pontuais sobre os termos emergentes dos disparadores, identificar os conteúdos

[48] Neste caso, "aberta" e "semiaberta" se referem às possiblidades de resposta dos(as) estudantes e, consequentemente, ao grau de controle do(a) professor sobre a escolha do problema. Portanto "aberta" seria a total liberdade de escolha por parte dos(as) estudantes, "semiaberta" seria a escolha influenciada pelo(a) professor(a), e "fechada" seria a proposição do problema feita totalmente pelo(a) professor, com pouca ou nenhuma participação dos(as) estudantes.

relevantes dentro do tema, analisar o problema, desenvolver hipóteses para explica-lo e definir os objetivos de aprendizagem.

No **3º (terceiro) momento** sugere-se a realização de atividades que complementem o trabalho de pesquisa dos grupos. Apresenta-se a seguir algumas sugestões.

5.6.1.1 Discussões sobre os trabalhos de cientistas mulheres, relacionados à temática em questão e à participação feminina no cenário científico. Essas discussões são urgentes no ensino de NdC, visto que a participação feminina na construção do conhecimento científico ao longo da História enfrentou diversos desafios, entre eles, a subnotificação. Poucos são os nomes de cientistas mulheres presentes no senso comum sobre suas contribuições na Ciência. No caso da temática em questão nesta tese, tem-se como destaques os nomes de Nettie Stevens, Lilian Vaughan Morgan, Barbara McClintock e Harriet Creighton. Pesquisas sobre os trabalhos dessas cientistas auxiliariam os(as) estudantes compreenderem melhor a importância da participação feminina na HC.

Outras sugestões interessantes sobre isso são a realização de pesquisas sobre o cenário atual no campo científico, por exemplo, por meio de dados referentes à produção acadêmica brasileira por mulheres e a participação feminina nos cursos universitários atualmente. Além disso, sugere-se como possibilidades de materiais para atividades didáticas os textos a utilização dos textos: (I) *"Dia da Mulher: grandes nomes na genética"* (MARCORIN & TANIGUTI, 2024), e (II) *"Nettie Stevens, o cromossomo Y e a complexa biologia da determinação sexual."* (LOBO, 2023), ambos anexos à tese.

5.6.1.2 Atividade prática laboratorial para coleta, cultivo e cruzamento de moscas drosófilas. A literatura científica das áreas de Ensino e Educação apresenta diversas discussões sobre a utilização de atividades práticas no ensino básico (DEMO, 1996; GIORDAN, 1999; KRASILCHIK, 2004; GASPAR & MONTEIRO, 2005; MARANDINO *et. al.,* 2009). Existem aquelas que apontam sobre a importância de se "desconstruir" concepções ingênuas e equivocadas sobre a experimentação em Ciência, como a ideia da desvinculação entre teoria e prática. Outras debatem sobre a concepção de "o método científico", como via exclusiva de validação da geração do conhecimento científico, entre outras questões (CHALMERS, 1993; CACHAPUZ et.

al., 2005). Bassoli (2014) apresentou discussão pela qual buscou “desmistificar” a utilização de atividades práticas no ensino de Ciências, através do que chamou de “mitos” sobre essas atividades. Segundo a autora, tem-se como parte do senso comum as ideias de que a prática é a principal forma de se aprender sobre Ciência; que essas atividades garantem a motivação dos(as) estudantes em aprender os conteúdos; e que recursos e estruturas laboratoriais específicas são condição de existência para as mesmas (BASSOLI, 2014).

Em meio aos cuidados pertinentes para que se entenda e se utilize as atividades práticas com vistas à alfabetização científica dos(as) estudantes (SASSERON & CARVALHO, 2011), Marandino e colaboradoras (2009) ressaltaram a importância de professores(as) entenderem as características específicas das práticas experimentais com objetivos didáticos. Tais atividades, diferentemente da experimentação científica profissional, têm objetivos específicos quanto ao envolvimento e aprendizagem dos(as) estudantes, e, portanto, um maior compromisso com o processo educacional do que com os resultados experimentais. Nesse sentido, Oliveria (2010) apresentou aspectos associados às atividades práticas didáticas que devem ser considerados no planejamento e execução das mesmas. Entre esses, o desenvolvimento de habilidades relativas à observação, análise e registro de dados, à dedução de ideias e formulação de hipóteses, à compreensão de aspectos da NdC, da atividade científica profissional, e das relações CTSA.

Assim, entende-se que atividades práticas favorecem a abordagem de aspectos da NdC, a partir de conteúdos conceituais, mas também, dos procedimentais e atitudinais relacionados à cultura científica. Dessa forma, sugere-se que sejam desenvolvidas atividades práticas para coleta, cultivo e, se possível, reprodução de moscas drosófilas nas condições escolares.

Não são raros os trabalhos acadêmicos que tratam sobre o cultivo de drosófilas em experimentos escolares, tanto para análises genéticas, quanto para discussões sobre o ciclo de vida dos insetos (DEMCZUK *et. al*., 2007; FALA *et. al*., 2010; SODRÉ, 2019; MONETEIRO, 2020; da SILVA GOULART, *et. al*., 2022). Além desses trabalhos, é possível encontrar materiais instrucionais em plataformas de compartilhamento de vídeo como YouTube, pelos quais são divulgadas técnicas simples e financeiramente acessíveis, para coleta, cultivo, manutenção e realização de cruzamentos controlados de moscas drosófilas. Faz-se nesta tese a sugestão de que professores(as) realizem

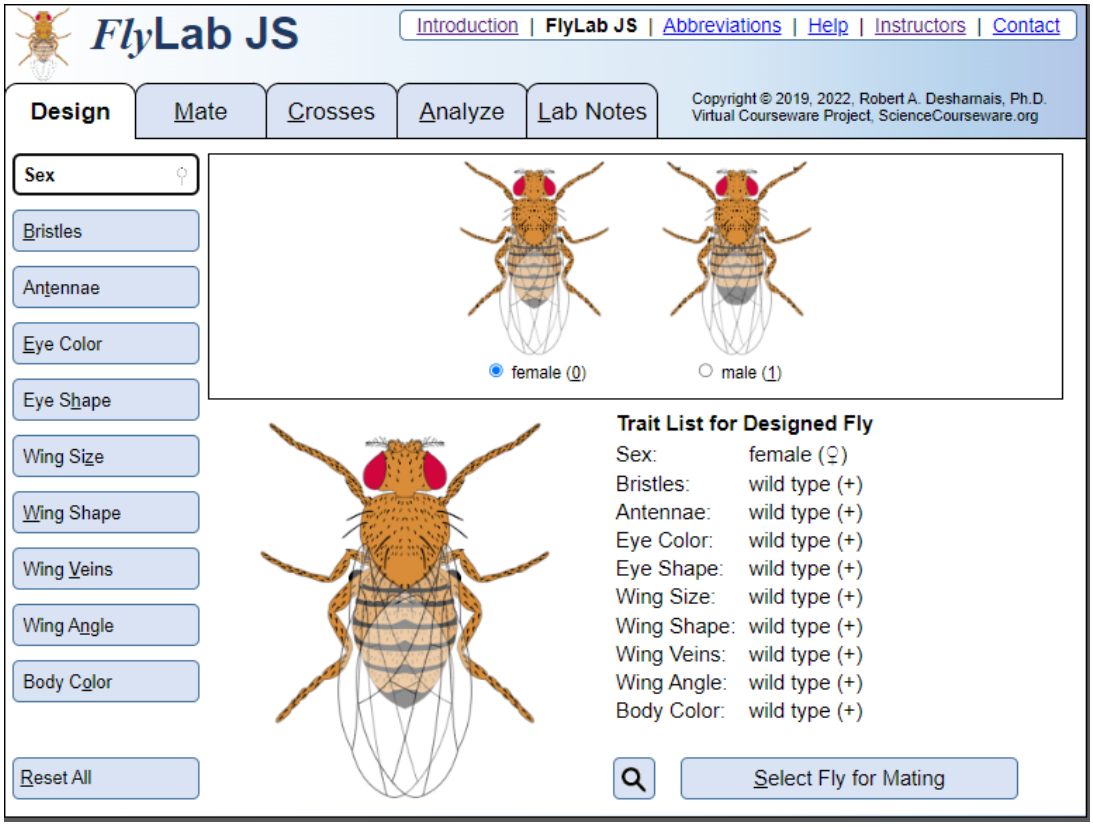
coletas, cultivo, identificação e cruzamentos de moscas, não como reprodução dos experimentos “clássicos”, mas sim como estratégia para o ensino de aspectos da NdC relacionados aos conteúdos procedimentais. Entende-se que esse tipo de atividade didática permite que os(as) estudantes tenham maior percepção sobre características biológicas e econômicas favoráveis à utilização de *D. melanogaster* como organismo modelo. Além disso, entende-se também que esse tipo de atividade pode apresentar uma perspectiva sobre a prática laboratorial desvinculada da noção de experimentos que “dão certo” ou “dão errado”, em referência a atividades fechadas ou abertas, em vista dos resultados esperados.

Por fim, indica-se aqui as publicações de Gomes (2001) , Almeida Aguiar (2015) e Monteiro (2020), como referências de material instrucional, por se tratarem de interessantes manuais para coleta, cultivo e cruzamentos direcionados utilizando as drosófilas.

5.6.1.3 Simulação de cruzamentos controlados de D. melanogaster, por meio de ferramenta digital (FlyLabJS). Em vista de possíveis restrições de recursos ou tempo, há a possiblidade de se realizar simulações de cruzamentos entre moscas drosófilas por meio de ferramenta digital disponível na internet. Trata-se da ferramenta educacional digital FlyLab JS, desenvolvida por Robert A. Desharnais[49]. Essa ferramenta visa simular o cruzamento entre drosófilas mutantes, de acordo com a escolha dos(as) usuários(as). É possível analisar os fenótipos, testar hipóteses e verificar por meio dos fenótipos. Os (As) usuários(as) podem gravar seus resultados em um arquivo de anotações online e exportarem para algum diretório e utilizá-los em outros momentos. As simulações permitem a realização de cruzamentos controlados e retrocruzamentos, analisando diversas gerações. São possíveis diversos tipos de interações entre genes e alelos que podem ser testadas, inclusive, características relacionadas ao sexo.

[49] DESHARNAIS, R.A.: FlyLab JS. Virtual Courseware Project, ScienceCourseware.org, 2022. Disponível em: https://www.sciencecourseware.org/FlyLabJS/ . Acesso em 17/07/2024.

Figura 6: Interface da ferramenta educacional digital FlyLab JS.



Fonte: DESHARNAIS, R.A, 2022. Disponível em: https://www.sciencecourseware.org/FlyLabJS/ . Acesso em 17/07/2024.

Além das atividades complementares, sugere-se que no 3º momento desta proposta didática sejam realizadas reuniões de "facilitação" entre o(a) professor(a) e os grupos de estudantes, com objetivo de auxiliar a reorganização do conhecimento a respeito do tema, em vista das pesquisas feitas e novos conhecimentos adquiridos. Nessas reuniões também podem ocorrer redefinição dos objetivos, metas e prazos dos trabalhos, de acordo com o andamento dos mesmos em vista do planejamento inicial. A atuação docente nessas reuniões de facilitação deve ocorrer de maneira a estimular a autonomia e autogestão dos trabalhos por parte dos(as) estudantes. Reforça-se aqui a importância da postura dos(as) professores(as) quanto à orientação sem o fornecimento de respostas ou soluções prontas às demandas dos(as) estudantes.

O **4º (quarto) momento** é marcado pela ocorrência da **“plenária”,** quando toda a turma compartilha os conhecimentos adquiridos por meio das pesquisas, atividades didáticas e etc. É na plenária que as **soluções para o problema serão apresentadas**, analisadas e discutidas coletivamente. Nesse momento, o(a) professor(a) tem o trabalho de auxiliar a turma a reconstruir cronologicamente as ações realizadas e a criar uma linha lógica que conduza às conclusões, em vista de todo o trabalho realizado anteriormente. Sugere-se utilizar as narrativas realizadas no 1º (primeiro) momento para comparação entre o conhecimento prévio e adquirido ao longo das atividades realizadas. A plenária serve ainda como o momento para que os(as) estudantes façam a **autoavaliação** de seu trabalho, configurando como mais uma oportunidade de exercerem sua autonomia, agora no processo avaliativo.

Por fim, o **5º (momento)** se dá pela realização de um **“produto final”** pela turma. Esse produto deve ser proposto pelo(a) professor, em vista de seus objetivos, como também do contexto em que estiver trabalhando. Nos casos em que a escola promover algum evento como feira cultural ou feira de Ciências, os produtos finais podem ser projetos que visem apresentara à comunidade escolar todo o trabalho desenvolvido pela turma, ao buscarem a resolução do problema proposto. Também podem ser organizadas ações (internas à escola, ou que promovam interação com a comunidade em geral) de divulgação científica, como por exemplo, materiais digitais que abordem as discussões sobre o problema e que sejam passíveis de compartilhamento pela internet. Tem-se como sugestões: (I) produção de material sobre o trabalho científico das mulheres, premiações históricas (Nobel), impactos sociais e científicos das pesquisas; (II) exposição e oficina sobre coleta, cultivo e reprodução de moscas drosófilas; (III) materiais que remetam ao histórico utilização de diferentes espécies como organismos modelos; (IV) a linha histórica dos trabalhos com drosófilas, desde as primeiras pesquisas aos avanços científicos contemporâneos.

Além da autoavaliação, o(a) professor pode avaliar o produto final, o desempenho dos(as) estudantes ao longo das atividades realizadas, ou ainda, sugerir que sejam produzidos portifólios nos quais todos os materiais, roteiros de atividade, registros de pesquisa, e conclusões sejam registrados por cada estudante. Esse conjunto de recursos pode possibilitar uma **avaliação formativa** do processo de aprendizagem, além de contemplar requisitos quantitativos exigidos pelas escolas.

Quadro 10: Resumo esquemático das principais atividades sugeridas na sequência didática fundamentada em ABP.

Momento da sequência didática	Resumo das atividades	Sugestão de quantidade de encontros (50 min)
1º momento	• Atividade disparadora para apresentação do tema; • Elaboração de narrativa; • Proposição de perguntas; • Definição do problema; • Organização dos grupos de pesquisa.	2
2º momento	• Realização as primeiras pesquisas; • Reuniões de facilitação com o(a) professor(a).	2 a 4
3º momento	• Atividades complementares; • Reuniões de facilitação e ajuste.	6 a 8
4º momento	• Plenária; • Apresentação de soluções; • Autoavaliação.	1
5º momento	• Desenvolvimento e apresentação do produto final.	2 a 4

Fonte: o autor da tese.

CAPÍTULO 6:

Conclusões

Em geral, a teoria cromossômica da herança (TCH) é ensinada na educação básica como o modelo teórico para a explicação sobre a localização dos genes nos cromossomos das células eucariontes. Além disso, é comum encontrar referências à sua autoria atribuída ao zoólogo e geneticista estadunidense Thomas H. Morgan, ocorrida em 1910, a partir de pesquisas utilizando a espécie *Drosophila melanogaster*, um díptero popularmente conhecido como “mosca-das-frutas” ou “mosca-do-vinagre”, que teria sido adotado como material experimental pelo cientista em vista da adequação de suas propriedades biológicas aos objetivos do trabalho. Apesar de muitos materiais didáticos citarem as participações de colaboradores no referido trabalho, é comum que esses sejam apresentados de forma secundária, assumindo “papel coadjuvante”, reforçando o destaque a Morgan. Também é recorrente a associação da TCH ao objetivo de comprovação experimental dos princípios propostos por Mendel em 1865. (MARTINS & PRESTES, 2012)

Em vista daquilo que já se estabeleceu historicamente por grande parte dos materiais didáticos, principalmente no Ensino Médio (EM), tem-se uma abordagem fragmentada desses conteúdos, uma vez que conceitos diretamente associados a estruturas e processos celulares, como cromossomos e divisão celular, são geralmente organizados em unidades didáticas relacionadas à Biologia Celular, enquanto conceitos genéticos como os “princípios mendelianos” e as “interações gênicas”, são organizados em unidades didáticas relacionadas à Genética. É comum, inclusive, que essas unidades sejam abordadas em diferentes períodos letivos.

Análises sobre a abordagem da TCH em livros didáticos apontaram que os conteúdos relativos aos episódios históricos são explorados de maneira simplificada, reduzida, tratados como paralelos, simples ilustração ou “curiosidades” e muitas vezes apresentados por meio de textos anexos no material didático. Apesar disso, existem materiais que fazem referências à participação de outros(as) pesquisadores(as), como

A literatura científica indica que as dificuldades enfrentadas por estudantes no aprendizado de Genética estão frequentemente associadas à fragmentação dos conteúdos e à descontextualização dos temas abordados nos livros didáticos. A falta de articulação entre os conceitos sobre divisões celulares e os princípios mendelianos,

por exemplo, evidencia a necessidade de uma abordagem didática que promova a integração e a contextualização dos conteúdos, permitindo que os(as) estudantes compreendam as relações entre os conceitos genéticos, como também a importância de se conhecer o contexto em que esses conceitos foram propostos. Entende-se que essa abordagem favorece a aprendizagem conceitual e o estabelecimento de conexões entre os conteúdos aprendidos e situações da vida cotidiana.

Nesse sentido, os episódios da HC abordados nesta pesquisa apresentam grande potencial didático-pedagógico, por explicitarem a relação intrínseca entre as estruturas celulares, como os cromossomos, e os mecanismos da hereditariedade biológica, durante a constituição histórica do conceito de gene, da maneira como ela ocorreu até a primeira metade do século XX. Tais episódios evidenciam que esse processo foi fundamentado, principalmente, por análises quantitativas dos resultados obtidos a partir dos cruzamentos entre moscas drosófilas, associadas aos modelos teóricos da fisiologia celular vigentes à. Esses modelos foram propostos, em sua maioria, a partir de estudos observacionais de células, realizados por embriologistas, zoólogos e botânicos atuantes no final do século XIX.

A adoção das drosófilas como organismos modelos ocorreu devido a diferentes fatores, como as características reprodutivas favoráveis à alta replicação e geração de dados, o baixo custo de cultivo e manutenção em laboratório, a expressão de características genéticas facilmente identificáveis por serem associadas ao sexo biológico, entre outras. Grande parte desses fatores facilitava a associação dos modelos teóricos sobre hereditariedade e divisões celulares à hipótese cromossômica proposta à época por pesquisadores como Walter Sutton e Theodore Boveri. Ou seja, para que os conceitos científicos aqui analisados fossem postulados da maneira como historicamente se conhece, a relação direta entre cromossomos e fatores hereditários mendelianos foi possibilitada pelos trabalhos realizados com drosófilas no início do século XX.

A pesquisa também destacou uma lacuna significativa na exploração da construção histórica e social do conhecimento em Genética, pois grande parte dos trabalhos analisados enfoca aspectos técnicos e científicos, sem grandes reflexões críticas sobre as implicações sociais e culturais desses conteúdos. Essa limitação sugere a urgência de uma abordagem pedagógica que não apenas transmita informações, mas que também promova esse tipo de reflexão sobre a Ciência, sobre

o conhecimento científico, sobre as práticas de pesquisa, e sobre como isso se relaciona com o contexto em que ocorre. Entende-se que essa seja uma condição quando se objetiva uma formação cidadã crítica.

Essas considerações apontam para a necessidade de se repensar as práticas pedagógicas no ensino de Genética, enfatizando também a importância de uma formação docente que valorize a contextualização, a articulação de conteúdos e a reflexão crítica sobre o conhecimento científico. Nesse sentido, os episódios da HC aqui analisados também se apresentam didaticamente significativos, visto que retratam diversas relações socio-científicas entre os(as) pesquisadores(as) envolvidos. A relação de Thomas Morgan com seus pares (professores, pesquisadores contemporâneos a ele e seus orientados) ilustra diversos aspectos da NdC que foram relevantes na proposição e consolidação da TCH. Por meio dessas relações, desenhos experimentais, modelos teóricos de análises, debates científicos, avanços tecnológicos e a própria mudança de posicionamento de Morgan em relação ao mendelismo constituíram o “caminho” até a compreensão sobre a relação dos cromossomos com os fatores hereditários.

Nesta tese, também foram abordadas questões fundamentais relacionadas à natureza da ciência (NdC) e suas implicações no contexto educacional, destacando a importância da formação docente e das concepções de ciência que permeiam o ensino. Primeiramente, evidenciou-se que tanto estudantes quanto professores apresentam concepções equivocadas sobre a NdC, como a crença sobre a Ciência buscar (e encontrar) “a verdade” sobre o mundo natural; a superioridade do conhecimento científico e do raciocínio lógico sobre outros tipos de saberes; a desconsideração da criatividade no processo científico e das questões sociais envolvidas no seu contexto de produção, entre outras. Essas concepções limitam a capacidade crítica dos(as) estudantes e a eficácia do ensino, uma vez que perpetuam uma visão reducionista e linear da Ciência, que não reflete sua complexidade.

Além disso, a análise das práticas pedagógicas revelou que a atuação docente é um fator crucial na formação das concepções de NdC dos estudantes. Apesar de concepções equivocadas sobre Ciência, sobre o contexto de produção científica ou sobre a História envolvida nesse processo, suas práticas podem gerar mudanças significativas nas percepções dos alunos, indicando que a reflexão crítica sobre a prática docente é essencial para a promoção de uma educação científica mais robusta

e contextualizada. Assim, a formação inicial e continuada dos(as) educadores(as) deve visar a superação das concepções ingênuas, tendo a adoção de abordagens que integrem a história da ciência como alternativa para o ensino.

A análise crítica dos materiais didáticos utilizados no ensino de ciências revelou uma tendência à fragmentação dos conteúdos e à descontextualização histórica, o que compromete a compreensão dos processos científicos e suas implicações sociais. A ênfase excessiva na memorização de conceitos, em detrimento da construção de relações conceituais e da contextualização histórica, reforça a necessidade de uma revisão dos currículos e dos recursos pedagógicos disponíveis, promovendo uma abordagem que valorize a História da Ciência e suas interações com a sociedade. Portanto, a integração da História e da Filosofia da Ciência no ensino é fundamental para a formação de cidadãos(ãs) cientificamente críticos(as), capazes de participar ativamente nas discussões sobre ciência e suas aplicações na sociedade contemporânea.

Sendo assim, nesta tese foram apresentadas estratégias didáticas fundamentadas, principalmente, em trabalhos colaborativos que fomentassem a prática da pesquisa escolar sobre os episódios históricos associados à consolidação da Teoria Cromossômica da Herança e da utilização de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo. Tais estratégias refletem reais possibilidades de articulação entre metodologia, questões epistemológicas do conhecimento científico no campo das Ciências Biológicas, aspectos da NdC e episódios da HC. Todas essas propostas foram fundamentadas por perguntas e questões organizadas a partir do modelo proposto por Martins (2015a), validado pela literatura científica da área. A relação dos eixos para discussão sobre NdC e dos temas propostos por esse autor com os episódios da HC analisados nesta pesquisa possibilitou a formação de instrumentos didáticos-pedagógicos que buscaram “garantir”, de certa forma, a abordagem dos conceitos genéticos dentro da proposta aqui desejada.

Mesmo diante da necessidade de adequações a especificidades de tempo, recursos, conhecimentos históricos específicos, etc., para utilização na educação básica, o material aqui apresentado possibilita aos professores(as) abordarem os conteúdos relativos a TCH, de maneira a promover discussões sobre NdC, ou mesmo, auxiliá-los(as) a compreenderem tais conteúdos de forma mais contextualizada do que se observa na maioria dos materiais didáticos.

. Em vista de todo o exposto, pode-se considerar a constituição de *Drosophila melanogaster* como organismo modelo em pesquisas genéticas, um caso de sucesso na HC. Sendo assim, é interessante perceber os diversos cenários e contextos, muitas vezes inusitados, que marcaram a adoção dessa espécie nos trabalhos científicos. Além disso, o conhecimento sobre esse processo revela aspectos da natureza da Ciência muito profícuos para a educação científica na educação básica. A partir desse exemplo, se têm possibilidades interessantes para discussão, ensino e aprendizagem sobre a prática científica, de modo a promover ressignificação sobre concepções ingênuas e equivocadas da Ciência, apresentadas por estudantes e professores(as).

Por fim, entende-se que este material pode contribuir com a formação docente inicial e continuada, além de fomentar a prática pedagógica de forma a favorecer a aprendizagem significativa e contextualizada em relação aos conteúdos aqui apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-EL-KHALICK, F. Examining the sources for our understandings about science: enduring conflations and critical issues in research on nature of science in science education. Internati-onal **Journal of Science Education**, v. 34, n. 3, p. 353-374, 2012 (a).

_____ Nature of science in science education: toward a coherent framework for synergistic research and development. In: FRASER, B. J.; TOBIN, K; McROBBIE, C. (Eds.). **Second international handbook of science education. The Netherlands: Springe**r, 2012 (b), p. 1041-1060.

ALFONSO-GODFARB, A. M. **O que é história da ciência?** 1 ed. São Paulo: Brasiliense, 1994. (Coleção primeiros passos).

ALLCHIN, D.: Teaching the nature of science: perspectives & resources. Saint Paul: SHiPS Education Press, 2013.

_____ Beyond the consensus view: whole science. Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, Toronto, v. 17, n. 1, p. 18-26, 2017.

ALLCHIN, D.; ANDERSEN, H. M.; NIELSEN, K. H. Complementary approaches to teaching nature of science: integrating student inquiry, historical cases, and contemporary cases in classroom practice. **Science Education, Hoboken**, v. 98, n. 3, p. 461-486, 2014.

ALLEN, G. E.: Hugo de Vries and the reception of the “mutation theory”. **Journal of the History of Biology**, v. 2, n. 1, p. 55-87, 1969.

_____ The introduction of Drosophila into the study of heredity and evolution: 1900-1910.**Isis**, v. 66, n. 3, p. 322-333, 1975.

_____ **Thomas Hunt Morgan: the man and his Science**. Princeton University Press, 1978.

_____ Origins of the classical gene concept, 1900–1950: genetics, mechanistic, philosophy, and the capitalization of agriculture. **Perspectives in Biology and Medicine**, v. 57, n. 1, p. 8-39, 2014.

ALMEIDA AGUIAR, Cr.: **Hereditariedade e evolução: guia de trabalhos práticos**. Departamento de Biologia. Universidade do Minho, Portugal. 2015

ALMEIDA, B. C.; MENDONÇA, P. C.C.: Natureza da Ciência e Ensino de Ciências: Perspectivas e Possibilidades. **XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA (XVIII ENEQ)**, 2016.

ALTERS, B. J.: Whose nature of Science? **Journal of Research in Science Teaching,** v. 34, n. 1, p. 39-55, 1997.

ALVARENGA, L. M.; COLAGRANDE, E. A. Possibilidades didáticas do uso de um filme para discutir a natureza da ciência (NdC). **Revista Insignare Scientia-RIS**, v. 4, n. 6, p. 395-416, 2021.

ANDRADE, M. A. B. S. de A. **Possibilidade e Limites da aprendizagem baseada em problemas no Ensino Médio**. 2007, 182 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru (SP), 2007.

ANDRADE, M. A. B. S. de A.; CAMPOS, L. M. L. A resolução de problemas no ensino de ciências e biologia. *In:* CALDEIRA, A. M. de A.; ARAUJO, E. de S. N. N. de (org.). **Introdução à didática da biologia,** Bauru, Escrituras, v. 10, p. 220-232, 2009.

ARONSON, E.; BLANEY, N.; STEPHINS, C.; SIKES, J e SNAPP, M. **The jigsaw classroom.** Beverly Hills: Sage, 1978.

ARROIO, A. Context based learning: A role for cinema in science education. **Science Education International.** v. 21, n. 3, p. 131-143, 2010.

AZEVEDO, N. H.; SCARPA, D. L. Revisão sistemática de trabalhos sobre concepções de Natureza da Ciência no ensino de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, n. 2, p. 579-619, 2017.

BALUŠKA F, VOLKMANN D, MENZEL D, BARLOW P. Strasburger's legacy to mitosis and cytokinesis and its relevance for the Cell Theory. **Protoplasma.** 2012 Oct;249(4):1151-62. doi: 10.1007/s00709-012-0404-8. Epub 2012

BANET, E.; AYUSO, E.: La herencia biológica en la educación secundaria: reflexiones sobre los programas y las estrategias de enseñanza. Revista Alambique: didáctica de las ciencias experimentales,Valencia, v. 16, n. 6, p. 21-31, 1998.

_____ Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. **Science Education**, v. 84, n. 3, p. 313-351, 2000.

BARBOSA, R.M.N. e JÓFILI, Z.M.S. Aprendizagem cooperativa e ensino de química: parceria que dá certo. **Ciência e Educação**, v. 10, n. 1, p. 55-61, 2004.

BASSOLI, F.. Atividades práticas eo ensino-aprendizagem de ciência (s): mitos, tendências e distorções. **Ciência & Educação (Bauru),** v. 20, n. 3, p. 579-593, 2014.

BASTOS, F.: O ensino de conteúdos de história e filosofia da ciência. **Ciência & Educação**, v. 5, n. 01, p. 55-72, 1998.

_____ História da ciência e pesquisa em ensino de ciências: breves considerações. Pp. 43-52, in: NARDI, Roberto (org.). **Questões atuais no ensino de ciências.** São Paulo: Escrituras, 2005.

BATISTETI, C. B.; de ARAÚJO, E. S. N.; CALUZI, J. J.: As estruturas celulares: o estudo histórico do núcleo e sua contribuição para o ensino de biologia. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, n. 1, p. 17-42, 2009.

BEJARANO, N.R.R.; ADURIZ-BRAVO, A.; BONFIM, C. S.: Natureza da Ciência (NOS): para além do consenso. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 25, p. 967-982, 2019.

BERBEL, N. A. N.. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas: diferentes termos ou diferentes caminhos?. **Interface-Comunicação**, Saúde, Educação, v. 2, p. 139-154, 1998.

BORGES, R. M. R. **A natureza do conhecimento científico e a educação em ciências**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1991

_____ **Em debate: cientificidade e educação em ciências**. Porto Alegre: SE/ CECIRS, 1996.

BOTELHO, J.: Sobre gêmulas, genes e DNA. **Investigação Ø Filosófica E**, v. 1, 2011.

BOTELHO, L. L. R.; DE ALMEIDA CUNHA, C. C.o; MACEDO, M.. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011.

BRAGA, C.M.D.da S.: O uso de modelos no ensino da divisão celular na perspectiva da aprendizagem significativa. Dissertação de Mestrado. Brasília/DF. 2010.

BRANDÃO, G. O.; FERREIRA, L. B. M.: O ensino de Genética no nível médio: a importância da contextualização histórica dos experimentos de Mendel para o

raciocínio sobre os mecanismos da hereditariedade. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, n. 1, p. 43-63, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Percepção pública da ciência e tecnologia.** Brasília, 2010.

BRITO, A. P. de O. P. de M.: MARTINS, L. A. C. P.: As contribuições iniciais de Wilson e Stevens para a teoria cromossômica: uma comparação. **Colóquio CESIMA** Ano X. 2005.

_____ Wilson, Stevens e a determinação de sexo por cromossomos: uma controvérsia. In: LORENZANO, Pablo; MIGUEL, Hernán. (Org.). **Filosofía e História de la Ciencia en el Cono Sur. Buenos Aires**: C.C.C. Educando; Asociación de Filosofía e História de la Ciencia del Cono Sur, AFHIC, v. 2, p. 395-404. 2008.

_____ Preformação versus epigênese no século XX: Morgan e a hipótese cromossômica (1900 – 1910). (In): Chibeni, S. S.; Zaterka, L; Ahumada, J.; Letzen, D.; Silva, C. C.; Martins, L. A.-C. P.; Brito, A. P. O. P. M. (editores**). Filosofía e História de la Ciencia en el Cono Sur. Selección de trabajos del X Encuentro**. Cordoba, Argentin. 2018.

CACHAPUZ, A. *et al*. A necessária renovação do ensino de ciências. São Paulo: Cortez, 2005.

CALCOTT, B. Why how and why aren't enough: more problems with Mayr's proximate-ultimate distinction. **Biology & Philosophy**, n. 28, p. 767-789, 2013.

CALDAS, J. M.: **Uma história da hereditariedade**. Trabalho de conclusão de curso, TCC, UFSC, Florianópolis, 2017.

CAMARGO, S. S.; SILVEIRA, R. V. M., INFANTE-MALACHIAS, M. E., CUNHA, P. R., & AMABIS, J. M.: **Meiose em 6 diferentes abordagens investigativas**. In: 48 CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA. Genetics and Molecular Biology. Águas de Lindóia, SP. São Paulo: SBG. setembro, 2002

CAMPOS, M. C. C.; NIGRO, R. G. **Proposições conceituais no ensino e na história da genética.** In: V ENCONTRO PERSPECTIVAS DO ENSINO DE BIOLOGIA. São Paulo, 1994. São Paulo: USP, 1994. p.192.

CANTIELLO, A. C.; TRIVELATO, L. F. **O conceito de herança biológica no currículo do ensino médio.** (In): III ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS. Atibaia, SP. 2001

_____ **O conceito de herança biológica, as provas vestibulares e o currículo do ensino médio. In**: VIII ENCONTRO PERSPECTIVAS DO ENSINO DE BIOLOGIA. São Paulo, 2002. São Paulo: USP. 2002

CARNEIRO, M. H. da S.; GASTAL, M. L.. História e filosofia das ciências no ensino de biologia. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 01, p. 33-40, 2005.

CARRERA, V. M.; ARROIO, A.. Filmes Comerciais no Ensino de Ciências: Tendências no ENPEC entre 1997 e 2009. **Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências,** 2011.

CARVALHO, Í. N.; NUNES-NETO, N. F.; EL-HANI, C. N. Como selecionar conteúdos de biologia para o ensino médio? **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 1, n. 1, 2011.

CARVALHO, V. B.I de. Percepção pública da ciência em tempos de pandemia: algumas questões. **Revista Eletrônica de Comunicação, Informação & Inovação em Saúde**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p. 500-506. jul./set. 2022.

CASTLE, W.E.: "Inbreeding, Cross-breeding and Sterility in Drosophila," **Science**, , 23:153. 1906

CASTRO, E. A.; DOS SANTOS FERREIRA, C.. **PBL no Ensino Médio integrado. Educação: pesquisa, aplicação e novas tendências** - Editora Científica Digital - Vol. 1 - Ano 2022

CERRI, Y. L. N. S.; NADALINI, M. F. C., E SILVA, L. H. A.: Possibilidades e Dificuldades didáticas para o ensino da célula: modelo mental e representação visual. In: MOREIRA, M.A., GRECA, I.M., COSTA, S.C. (Orgs.), III **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências** (pp. 1-12). São Paulo: FEUSP. 2001

CESCHIM, B.; GANIKO-DUTRA, M.: (Cap. 06) “Genético” e “hereditário”: como a Biologia contemporânea explica essa relação?. In: CALDEIRA, A.M.A *et al*.(org.); **Didática e Epistemologia da Biologia**. Coleção Educação para a Ciência, nº 20. Ed. Espelho D´alma. São Paulo, 2020.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** 2. ed. São Paulo: Brasiliense, 1993.

CID, M.; NETO, A. J.: Dificuldades de aprendizagem e conhecimento pedagógico do conteúdo: o caso da genética. Enseñanza de las Ciencias, n. Extra, p. 1-5, 2005.

CLEMINSON, A. Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and how children learn science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 27, n. 5, 1990.

CLOUGH, M. P.: Learners’ responses to the demands of conceptual change: considerations for effective nature of science instruction. **Science & Education**, 15(5), 463–494. 2006.

_____ Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: questions rather than tenets. **The Pantaneto Forum**, 25, 2007

COCHITO, M.I.S. Cooperação e apren¬dizagem: **Educação Intercultural**. Lisboa: ACIME, 2004.

COSTA, F. S.; ZANIN, A. S.; OLIVEIRA, T. L.; ANDRADE, M. S. As visões distorcidas da Natureza da Ciência sob o olhar da História e Filosofia da Ciência: Uma análise

nos **anais dos ENEQ e ENEBIO** de 2012 e 2014. Actio, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 4-20, 2017.

COSTA, Í. F. R.; MAGALHÃES, G.: Uma introdução à história da embriologia**. Filosofia e História da Biologia,** v. 17, n. 1, p. 1-45, 2022.

da COSTA, R.D.A; WEBBER, C.G.: Inteligência Artificial no ensino: constructos orientativos para o desenvolvimento de tecnologias por professores**. Contribuciones a Las Ciencias Sociales,** São José dos Pinhais, v.16, n.12, p.29923-29943, 2023

DA ROSA, C. T.. W; GHIGGI, C.. M. Resolução de problemas em Física envolvendo estratégias metacognitivas: análise de propostas didáticas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 3, 2018.

DA SILVA GOULART, A., KIELING, K. M. C., VIÇOSA, C. S. C. L., SALGUEIRO, A. C. F., & FOLMER, V. (2022). Ensino de Ciências a partir da Problematização: percepções de educandos acerca do ciclo de vida da Drosophila melanogaster. Research, Society and Development, 11(2), e31411225694-e31411225694.

DAGNINO, R.; LIMA, M. T.; NEVES, E. F. Popularização da ciência no Brasil: entrada na agenda pública, de que forma? **Journal of Science Communication**, v. 7, n. 4, 2008.

de LIMA, L., LOUREIRO, R. C., & BEZERRA QUEIROZ, L. V. As redes sociais virtuais utilizadas no contexto do ensino de biologia. **Teoria E Prática Da Educação**, 25(3), 99-120. 2022.

DE PAULO MOURA, K. M.; DE CARVALHO, L. O.. As mídias sociais na prática do professor. **Revista Polyphonía**, v. 30, n. 2, p. 158-176, 2019.

DELIZOICOV, D.; SLONGO, I.; LORENZETTI, L. Um panorama da pesquisa em educação em ciências desenvolvida no Brasil de 1997 a 2005. **Revista Electrónica de Enseñanza de lasCiencias**, Vigo, v. 12, n. 3, p. 459-480, 2013.

DEMCZUK, O. M.; SEPEL, L. M. N.; LORETO, E. L. S. Investigação das concepções espontâneas referentes a ciclo de vida e suas implicações para o ensino nas series iniciais. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias,** v. 6, n. 1, p. 117-128, 2007.

DEMO, P. **Educar pela pesquisa**. Campinas: Autores Associados, 1996.

DO NASCIMENTO REIS, D. OLIVEIRA, G. O., MARAMBAIA, A. R. P., & ZANONI, R. D : A inteligência artificial como recurso facilitador no ensino das arboviroses**. Revista Ibero-Americana de Humanidade**s, Ciências e Educação, v. 10, n. 4, p. 1056-1071, 2024.

DURBANO, J.P di M.: O desenvolvimento do conceito de crossing-over (1915-1935): uma contribuição histórica para o ensino de genética. (Tese de Doutorado), USP, Ribeirão Preto; 2017.

EVANGELISTA, N. A. M.: **O conceito de gene em livros didáticos de biologia celular e molecular do ensino superior**. (Dissertação de Mestrado). UFBA. 2016.

FALA, A. M.; CORREIA, E. M.; PEREIRA, H. D.'M.. Atividades práticas no ensino médio: uma abordagem experimental para aulas de genética. **Ciências & Cognição**, v. 15, n. 1, p. 137-154, 2010.

FAPESEP – FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Percepção pública da ciência da tecnologia no Estado de São Paulo.** In: . Indicadores de ciência, tecnologia e inovação em São Paulo 2010. São Paulo, 2010.

FERRARI, N.; LEITE, R. C. M.; DELIZOICOV, D**. Mendel e a construção coletiva do conhecimento.** In: 47 CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA. Genetics and Molecular Biology. Águas de Lindóia, SP. São Paulo: SBG. outubro, 2001

FOGAÇA, M.: **Papel da inferência na relação entre modelos mentais e modelos científicos de células.** Dissertação. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo – USP. 2006.

FURNIVAL, A. C.; PINHEIRO, S. M.: A percepção pública da informação sobre os potenciais riscos dos transgênicos na cadeia alimentar.**História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 15, p. 277-291, 2008.

GAGLIARDI, R.: Los Conceptos Estructurales en el Aprendizaje por Investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 4, n. 1, p. 30-35, 1986.

GAGLIARDI, R; GIRODAN, A.: La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. Enseñanza de las Ciencias. **Revista de investigación y experiencias didácticas,** v. 4, n. 3, p. 253-258, 1986.

GAMBIN, K. C.; SCHEID, N. M. J.; DE ANDRADE LEITE, F.. ESTADO DO CONHECIMENTO SOBRE ENSINO DE GENÉTICA EM PESQUISA STRICTO SENSU. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista–ENCITEC**, v. 11, n. 3, p. 62-77, 2021.

GASPAR, A., & MONTEIRO, I. C. C. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vigotski. **Investigações em Ensino de Ciências,** 10(2), 227- 25. (2005).

GIL, A.C.:.**Como elaborar projetos de pesquisa**. Editora Atlas SA, 2002.

GILBERT, S.F.: **Biologia do desenvolvimento**, 3ª ed., Editora FUNPEC, 561p., 1991.

GIL-PÉREZ, D., FERNÁNDEZ, I., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A., & PRAIA, J. . Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, 7(2), 125–153. 2001.

GIORDAN, M.. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química nova na escola,** v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999.

GLEASON, K., "Calvin Blackman Bridges (1889-1938)". **Arizona State University. School of Life Sciences. Center for Biology and Society. Embryo Project**

Encyclopedia. 2019. Disponível para acesso em https://embryo.asu.edu/pages/calvin-blackman-bridges-1889-1938 (Acesso em 05/07/2024).

GOLDBACH, T.; MACEDO, A. G. A. Produção científica e saberes escolares na área de ensino de Genética: olhares e tendências. **VII Jornadas Latino-Americanas de Estudos Sociais das Ciências e das Tecnologias**, 2008.

GOMES, R. A. P. L. **Protocolo – Utilização de Drosophila em genética: 1ª Parte**. Universidade de Lisboa: Departamento de Biologia Vegetal, Faculdade de Ciências, 2001. Disponível em (chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ordembiologos.pt/arquivo/Publicacoes/Biologias/Droshort%20--%2001Jan01.pdf). Acesso em 17/07/2024

GOULART, Aline *et al*. Ensino de Ciências a partir da Problematização: percepções de educandos acerca do ciclo de vida da Drosophila melanogaster. Research, Society and Development, v. 11, n. 2, p. e31411225694-e31411225694, 2022.

GUERRA, L. M.; GHIDINI, A. R.; DA SILVA, L. F.. Tecnologias digitais de informação e comunicação aplicadas ao ensino de biologia no Brasil: um estado da arte. **Scientia Naturalis**, v. 4, n. 1, 2022.

HARRES, J. B. S. Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências** , v.4, n3, 1999.

HODSON, D.: Seeking directions for change: The personalization and politicization of science education. **Curriculum Studies**, 2(1), 71–98. 1994.

_____ Science fiction: the continuing misrepresentation of science in the school curriculum**. Curriculum Studies**, 6(2), 191–216. 1998.

_____ Learning science, learning about science, doing science: Different goals demand different learning methods. **International Journal of Science Education,** 36(15), 2534–2553. 2014 (b).

_____ Nature of science in science curriculum: origin, development, impliciations and shifiting emphasis. In: MATTHEWS, M. (ed.). **International handbook of research in history, philosophy and science teaching. Dordrecht**: Springer, p. 911-970. 2014 (a).

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C.: Why implemenng history and philosophy in school science educaon is a challenge : An analysis of obstacles. **Science & Education**, v. 20, n. 3, p. 293-316, 2011.

IRZIK, G.; NOLA, R. A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. **Science & Education**, v. 20, n. 7-8, p. 591-607, 2011.

ISZLAJI, C.; PRESTES, M. E. B.: Mitos científicos em trechos históricos de livros didáticos de biologia. **Revista da SBEnBio**–Número, v. 3, p. 2848, 2010.

JANCZUR, C. Uma proposta de atividade para integração de conteúdos de citologia e genética. In: **V ENCONTRO PERSPECTIVAS DO ENSINO DE BIOLOGIA**. São Paulo, 1994. São Paulo: USP, 1994. p.40.

JOAQUIM, L. M.; EL-HANI, C.I N..: A genética em transformação: crise e revisão do conceito de gene. **Scientiae studia**, v. 8, p. 93-128, 2010.

JOHNSON, D.W. e JOHNSON, R.T. Instructional goal structure: cooperative, competitive or individualistic. **Review of Educational Research**, v. 44, p. 213-240, 1974.

_____ Cooperative, competitive and individualistic learning. **Journal of Research and Development in Education**, 12: 3-15. 1978.

JOHNSON, D. W., JOHNSON, R. T., HOLUBEC, E. J., ROY, P. Circles of learning. Virginia: **Association for Supervision and Curriculum Development**. 1984.

JUSTINA, L. A. D.: **Ensino de genética e história de conceitos relativos à hereditariedade**. Tese de doutoramento, UFSC, Florianópolis, 2001.

JUSTINA, L. A. D.; RIPPEL, J. L.. Ensino de Genética: representações da ciência da hereditariedade no nível médio. **IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2003.

JUSTINA, L. A. D.; ROSA, V. L.; FERRARI, N**. A evolução histórica do conceito de hereditariedade – a teoria mendeliana como exemplo de ruptura bachelardiana**. In: 46 CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA. Genetics and Molecular Biology. Águas de Lindóia, SP. São Paulo: SBG, v. 23, n.3. september, 2000. p.176

KENSKI, V. M. **Educação e tecnologias: o novo ritmo da informação**. 8. ed. Campinas: Papirus, 2012

KÖHLER, R.T E. *Drosophila*: A Life in the Laboratory. **Journal of the History of Biology**, v. 26, n. 2, p. 281-310, 1993.

_____ **Lords of the fly: Drosophila genetics and the experimental life**. University of Chicago Press, 1994.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de biologia**. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2004.

KRUPCZAK, C.; AIRES, J. A. Natureza da ciência: o que os pesquisadores brasileiros discutem? **Amazônia – Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, Belém, v. 14, n. 32, p. 19-32, 2018.

LALAND, K. N.; ODLING-SMEE, J.; HOPPITT, W.; ULLER, T. More on how and why: cause and effect in biology revisited **Biology & Philosophy**, n. 28, p. 719-745, 2013a

LALAND, K. N.; STERELNY, K.; ODLING-SMEE, J.; HOPPITT, W.; ULLER, T. Cause and Effect in Biology Revisited: Is Mayr's Proximate-Ultimate Dichotomy Still Useful? **Science***,* v. 334, p. 1512-1516, 2011.

LAKATOS, I.: History of science and its rational reconstructions. In: PSA: Proceedings of the biennial meeting of the philosophy of science association. Cambridge University Press, 1970. p. 91-136.

LEDERMAN, N. G. Students' andTeachers' ConceptionsoftheNatureof Science: a review oftheresearch. **JournalofResearch in Science Teaching**, Virginia, v. 29, n. 4, p. 331-359, 1992.

_____ Nature of Science: Past, present, and future. (In): ABELL, S.; LEDERMAN, N. G**. Handbook of research in Science Education**. New York:Routledge, 2007.

LEDERMAN, N. G.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L.; SCHWARTZ, R. S. Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners'conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 39, n. 6, p. 331-359, 2002.

LEDERMAN, N., LEDERMAN, J., & ANTINK, A.: Nature of Science and Scientific Inquiry as Contexts for the Learning of Science and Achievement of Scientific Literacy. ***International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology***, 1, 138-147. 2013.

LEITE, R.C. M.. A produção coletiva do conhecimento científico: um exemplo no ensino de genética. 2004.

LEITE, R. C. M.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. A história das leis de Mendel na perspectiva fleckiana. In: III ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS. Atibaia, SP. 2001

LEYSER DA ROSA, V.; EL-HANI, C. N. **Ensinando ética e história e filosofia das ciências para estudantes de biologia: duas propostas pedagógicas**. In: 46 CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA. Genetics and Molecular Biology. Águas de Lindóia, SP. São Paulo: SBG, v. 23, n.3. september, 2000. p.177-178.

LÉVY, P.: **Cibercultura.** São Paulo: Editora 34, 2001.

LEWIS, J., LEACH, J.; WOOD-ROBINSON. What´s in a cell? – young people's understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. Journal of Biological Education. 34 (3).. p. 129-132. 2000 (a)

LEWIS, J.; WOOD-ROBINSON, C.: Genes, chromosomes, cell division and inheritance - do students see any relationship? **International Journal of Science Education,** *22*(2), 177–195. 2000 (b)

LIBÂNEO J. **Adeus professor, adeus professora? Novas Exigências Educacionais e Profissão Docente**. 4. ed., 2000.

LIMA, D. B. de. **A aprendizagem baseada em problemas e a construção de habilidades como ferramentas para o ensino-aprendizagem nas ciências da natureza**. 2015.

LOBO, L.: N. S., O cromossomo Y e a complexa biologia da determinação sexual. **Portal Ciência Hoje**, julho de 2023. Disponível em: https://www.cienciahoje.org.br/artigo/nettie-stevens-o-cromossomo-y-e-a-complexa-biologia-da-determinacao-sexual/. Acesso em 15/07/2024.

LOPES, F.M.B.: **Ciclo celular: estudando a formação de conceitos no Ensino Médio.** Dissertação. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE. 2007

MAMEDE. S. Aprendizagem baseada em problemas: características, processos e racionalidade. In: _____; PENAFORTE, J. (Org). **Aprendizagem baseada em problemas: anatomia de uma nova abordagem educacional**. Fortaleza: Hucitec, p. 25-48, 2001.

MANZKE, V. H. B. *et al*. **Aspectos da interação entre o professor de biologia e o livro didático no ensino de genética, na cidade de Pelotas**, Dissertação de mestrado – UFSM/RS. 1999.

MARANDINO, M. e SELLES, S.E. e FERREIRA, M. S.: **Ensino de Biologia: histórias e práticas em diferentes espaços educativos**. . São Paulo, SP: Cortez. . Acesso em: 15 mar. 2024. , 2009;

MARCORIN, L.; TANIGUTI, N.: Dia da Mulher: grandes nomes na genética. **Blog Mendelics,** março de 2024. Disponível em: https://blog.mendelics.com.br/dia-da-mulher-grandes-nomes-na-genetica/ . Acesso em 15/07/2024.

MARIN, G. R. B.; VINHOLI JÚNIOR, A. J.: Produção científica sobre o ensino de genética no Brasil: uma análise de teses e dissertações (2004-2019). **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 7, n. 2, p. 922-944, 2020.

MARKOW, T. A.: The secret lives of Drosophila flies. **elife**, v. 4, p. e06793, 2015.

MARRERO, A. R.; MAESTRELLI, S. R. P. **Qual a relação existente entre DNA, cromossomos e genes?** Conceitos identificados entre alunos das fases iniciais de cursos da área da saúde na UFSC. In: 47 CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA. Genetics and Molecular Biology. Águas de Lindóia, SP. São Paulo: SBG. outubro, 2001

MARTINS, A. F. P.: Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015 (a)

MARTINS, L. A.C. P. A teoria cromossômica da herança: proposta, fundamentação, crítica e aceitação. Tese de Doutorado. Unicamp, Campinas, 1997

_____ A história da ciência e o ensino da biologia. **Ciência & Ensino**, v. 5, n. 2, p. 8, 1998.

_____ P.: Did sutton and boveri propose the so-called sutton-boveri Chromosome hypothesis**? Genetics and Molecular Biology**, 1999 (a).

_____ McClung e a determinação do sexo: do equívoco ao acerto. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 6, n. 2, p. 235-256, 1999 (b).

_____ Bateson e o programa de pesquisa mendeliano. **Episteme**, v. 14, n. 1, p. 27-55, 2002 (a).

_____ Um achado inusitado no laboratório de Morgan: a Drosophila de olhos brancos.**O laboratório, a oficina e o ateliê: a arte de fazer o artificial. São Paulo: EDUC**, p. 227-256, 2002. (b)

_____ História da ciência: objetos, métodos e problemas. Ciência & Educação, v. 11, n. 02, p. 305-317, 2005.

_____ As contribuições iniciais de Thomas Hunt Morgan para a determinação de sexo (1903-1909): um estudo de caso. **Filosofia E Histria Da Cincia No Cone Sul. Seleo de Trabalhos Do 5o Encontro**, p. 43, 2008.

_____ A herança de caracteres adquiridos nas teorias “evolutivas” do século XIX, duas possibilidades: Lamarck e Darwin. **Filosofia e História da Biologia**. São Paulo, v. 10, n. 1, p. 67-84, 2015 (b).

MARTINS, L. A.C. P.; BRITO, A.P.O.P.M.: As concepções iniciais de Thomas Hunt Morgan acerca de evolução e hereditariedade. **Filosofia e História da Biologia**, v. 1, n. 1, p. 175-189, 2006.

MARTINS, L. A.C. P.; PRESTES, M. E. B.: Uma contribuição para o ensino-aprendizagem de genética clássica: os estudos iniciais de Thomas Hunt Morgan com D*rosophila*. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. ed. EDUFRN, 2012.

MARTINS, R. A.: Que tipo de história da ciência esperamos ter nas próximas décadas? **Episteme**, Porto Alegre, n.10, p. 39-56, jan/jun, 2000.

_____ Introdução: a História das Ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências***:* subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MARTINS, R. de A.; MARTINS, L. A.C. P.: Uma leitura biológica do'De Anima'de Aristóteles. **Filosofia e história da biologia**, v. 2, n. 1, p. 405-426, 2007.

MATTHEWS, M.: History, philosophy and science teaching: an approachment. **Studies in Science Education**, v.18, 1990.

_____ História, Folosofia y Ensenãnza de lasCiencias: laaproximaciónactual. **Ensenãnza de lasCiencias**, Barcelona, v. 12, n. 2, p. 255-277, 1994.

_____ História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

_____ Changing the focus: from nature of science to features of science. In: KHINE, M. S. (Ed.). **Advances in nature of science research. Dordrecht**: Springer, 2012.

MAYR, E.: **O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança**. Ed. UnB, 1998.

_____ **Biologia, ciência única**. Editora Companhia das Letras, 2005.

MCCOMAS, W. F. **The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies**. NewYork: Kluwers Academic Publishers, 1998.

MCCOMAS, W. F.; OLSON, J. The nature of science in international science education standards documents. *In*: MCCOMAS, W. F. (org.). **Nature of science in scienceeducation**: rationales and strategies. Dordrecht: Kluwer, 1998. p. 41-52

MEICHTRY, Y. J. The impact of science curriculaon student views about the nature of science. **Researchon Science Teaching**, Virginia, v. 30, p. 429-443, 1993.

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

MENDONÇA, P. C. C.. De que conhecimento sobre natureza da ciência estamos falando?. **Ciência & Educação (Bauru),** v. 26, p. e20003, 2020.

MENGUE, L.; M. de A., "A ciência que a gente vê no cinema": uma intervenção escolar sobre o papel da ciência no cotidiano. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, vol. 15, núm. 3, septiembre diciembre, 2015, pp. 645-659

MINAYO, M. C. de S.;DESLANDES, S.F.;GOMES, R.: **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Editora Vozes Limitada,Rio de Janeiro, 2019.

MIZUKAMI, M. da G. N. *et al*. **Ensino: as abordagens do processo**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

MONTEIRO, A.: Drosophila na sala de aula. Guia do professor. Ciênca *et al*, Programa educativo. Instituto de Investigação e Inovação em Saúde. Porto, Protugal. 2020.Disponível em (chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cienciaetal.i3s.up.pt/wp-content/uploads/2022/10/drosophila_kit3.pdf). Acesso em17/07/2024.

MOORE, J. A.: **Science as a way of knowing: The foundations of modern biology**. Harvard University Press, 1993.

MORÁN, J. M. O vídeo na sala de aula. **Revista Comunicação & Educação**, n. 2, p. 27-35, 1995.

MORGAN, T.H.: Recent theories in regard to the determination of sex. **Popular Science Monthl**y, 64: 97-116, 1903.

_____ The male and female eggs of Phylloxerans of the hickories. **Biological Bulletin**, 10: 201-206, 1905.

MORI, L. :Gene white e o mutante de olhos brancos de *Drosophila melanogaster.* **Genética na Escola**, v. 7, n. 2, p. 96-101, 2012.

MOROSINI, M. C.; FERNANDES, C. M. B.. Estado do Conhecimento: conceitos, finalidades e interlocuções. **Educação por escrito**, v. 5, n. 2, p. 154-164, 2014.

MOURA, B. A.: O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência?. **Revista Brasileira de História da ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

NAPOLITANO, M. **Como usar o cinema na sala de aula**. São Paulo: Contexto. 2003.

NASCIMENTO, J. F. de M.: **A genética se faz presente no vestibular da Universidade Federal de Santa Catarina.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação. Programa de Pós-Graduação em Educação, 2003.

NEVES (das), L. A. S.: **Da Antiguidade à Redescoberta das Leis de Mendel**. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciência-Editora UFSM, 2020.

NUNES, L. B. X.; PECHLIYE, M. M.: **História da Ciência e aplicações no ensino básico de Biologia: uma investigação dos anais dos ENPECs** de 2007 a 2015.

OLIVEIRA, T. H. G.; dos SANTOS, N. F; BELTRAMINI, L. M.: O DNA: uma sinopse histórica. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 2, n. 1, p. 1-16, 2004.

OMETTO-NASCIMENTO, T. A.: A evolução do ensino de genética no nível médio e a engenharia genética. In: **46 CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA**. Genetics and Molecular Biology. Águas de Lindóia, SP. São Paulo: SBG, v. 23, n.3. september, p.179-180. 2000.

OSBORNE, J. F.; COLLINS, S.; RATCLIFFE, M.; MILLAR, R.; DUSCHL, R. What “ideas about science” should be taught in school science? a Delphi study of the expert community. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 40, n. 7, p. 692-720, 2003.

PAIVA, A de S., GUIMARÃES, A.P.M., ALMEIDA, R.O.: Biologia celular: uma revisão de experiências didáticas no ensino médio entre 2004 e 2014. X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC Águas de Lindóia, SP – 24 a 27 de Novembro de 2015.

PALMERO, M.L.R.: Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza/aprendizaje de la estructura y del funcionamiento celular (Bibliographical review on the teaching and learning of cell structure and functing). **Investigações em Ensino de Ciências** – V2(2), pp.123-149, 2000

_____ La célula vista por el alumnado (How the students see the cell). **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 229-246, 2003.

PAWELETZ, N.: Walther Flemming: pioneer of mitosis research. **Nature reviews Molecular cell biology**, v. 2, n. 1, p. 72-75, 2001.

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

PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. **Temas de História e Filosofia da Ciência no ensino.** Natal: EDUFRN, 2012.

PEREIRA, M. G.; TRIVELATO, S. L. F. A.: Natureza da Ciência (NdC) em produções acadêmicas: investigando os anais dos **Encontros Nacionais de Ensino de Biologia (2005 – 2014). X ENPEC**, nov 24-27, Águas de Lindóia, SP, 2015

POLIZELLO, A., MARTINS, L. A. C. P.: Modelos microscópicos de herança no século XIX. **Filosofia e História da Biologia**, v. 7, n. 2, p. 137-155, 2012.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A.: O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 02, p. 141-156, 2007.

PRESTES, M.E.B.: O whiggismo proposto por Hebert Butterfield. Boletim de História e Filosofia da Biologia, nº 4 (3): 2-4. 2010.

PRESTES, M. E. B.; CALDEIRA, A.M de A.: A importância da história da ciência na educação científica. **Filosofia e história da biologia**, v. 4, n. 1, p. 1-16, 2009. Abordagens, métodos e historiografia na história da ciência. (In): MARTINS, A. M. (ed.). **O tempo e o cotidiano na história**. São Paulo: Fundação para o Desenvolvimento da Educação (série ideias 18), 1993. p. 73-78.

PUMFREY, S. History of Science in the National Science Curriculum: A critical review of resources and their aims. **British Journal for the History of Science**,v. 24, n. 1, p. 61-78, 1991.

QUEIROZ, A. PBL, problemas que trazem soluções. **Revista Psicologia, Diversidade e Saúde**, v. 1, n. 1, 2012.

RAZERA, J.C.C.; BASTOS, F.: História da Ciência no ensino de ciências: Diversificando os materiais de apoio e estratégias de estudo. (In): NARTI, R.; dos SANTOS, B.F. da SILVA, V.A.: (org.): **Formação de educadores em Ciências e Matemática: Estreitando as Relações entre Ensino e Pesquisa. Vol 1,** Coleção Educação para a Ciênca, nº 24. Livraria da Física, São Paulo, 2020.

REZNIK, T. O desenvolvimento do conceito de gene e sua apropriação nos livros didáticos de Biologia. Dissertação de Mestrado. UFF. 1995.

RIBEIRO, L. R. de C.. **Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior**. Edufscar, São Carlos, 2010.

RIBEIRO, S. I.; VELLOSO, V. P.; MOREIRA, M. A. História e Filosofia da Ciência em evento de ensino de ciências. **Revista HISTEDBR On-Line**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 1150-1171, 2018.

RIBEIRO, V. R.. **Problem Based Learning (PBL) como proposta para atender ao Novo Ensino Médio. 2022**. 103 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências da Natureza)-Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói,2022.

RODRIGUES, C. C.; MELLO, M. L. A prática no ensino de genética e biologia molecular: desenvolvimento de recursos didáticos para o Ensino Médio, 2005.

ROMANOWSKI, J. P.; ENS, R. T.: As pesquisas denominadas do tipo Estado da Arte em educação. **Revista diálogo educacional**, v. 6, n. 19, p. 37-50, 2006.

ROSA, I. S. C.; DE ALMEIDA, R. O.. O conteúdo de genética e as experiências didáticas relatadas na literatura: uma revisão sistemática dos trabalhos do ENPEC. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 2, p. 245-270, 2021.

ROTHER, E. T.a. Revisión sistemática X Revisión narrativa. **Acta paulista de enfermagem**, v. 20, p. v-vi, 2007.

RUSSEL, S.; NORVIG, P.. **Inteligência Artificial**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Campos, 2004.

RYDER, J. Identifying science understanding for functional scientific literacy. **Studies in Science Education,** 36, 1 – 44. 2001.

SANDOVAL,W. A. Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. **Science Education**, 89, 634 – 656. 2005.

SANDOVAL, W. A., & MORRISON, K.: High school students' ideas about theories and theory change after a biological inquiry unit. **Journal of the Research in Science Teaching,** 40(4), 369 – 392. (2003).

SANTOS, C. G. B. **Explorando a aprendizagem baseada em problemas no ensino médio para tratar de temas interdisciplinares a partir das aulas de química**.. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2010

SANTOS, C. M. Concepção de gene do ensino de graduação de ciências biológicas. In: 48 CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA. Genetics and Molecular Biology. Águas de Lindóia, SP. São Paulo: SBG. setembro, 2002

SANTOS, E. F. dos. **Aprendizagem baseada em problemas (PBL) no ensino de ciências e biologia na educação básica: uma revisão sistemática com base na análise de dissertações e teses brasileiras.** 2024.

SANTOS, F. D. (dos); SILVA, A. F. G.; FRANCO, F. F.: 110 anos após a hipótese de Sutton-Boveri: a teoria cromossômica da herança é compreendida pelos estudantes brasileiros?.**Ciência & Educação (Bauru)**, v. 21, p. 977-989, 2015.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P.: Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011

SASSERON, L. H.; DUSCHL, R. Ensino de ciências e práticas epistêmicas: o papel do professor e o engajamento dos estudantes. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegrre, v. 21, n. 2, p. 52-67, 2016.

SCHEID, N.M.J. A história da ciência no cinema: subsídios para a aplicação no ensino. **SBEnBIO**, Campinas, v. 1, n. 6, p. 109-121, 2013.

SCHEID, N.M.J.; PANSERA-DE-ARAÚJO, M.C.: O conhecimento genético e a prática de ensino em biologia. In: VIII ENCONTRO PERSPECTIVAS DO ENSINO DE BIOLOGIA. São Paulo: USP. 2002.

SCHEINER, S. M. Toward a conceptual framework for biology. **The Quarterly Review of Biology**, v. 85, n. 3, p. 293-318, 2010.

SCHNEIDER, E. M., JUSTINA, L. A. D., ANDRADE, M. B. S. D., OLIVEIRA, T. B. D., CALDEIRA, A. M. D. A., & MEGLHIORATTI, F. A. Conceitos de gene: construção histórico-epistemológica e percepções de professores do ensino superior. **Investigações em Ensino de Ciências**, 201-222. 2011

SELLES, S. E.; FERREIRA, M. S.: Disciplina escolar Biologia: entre a retórica unificadora e as questões sociais. In: MARANDINO, M.; SELLES, S. E.; FERREIRA, M. S. & AMORIM, A. C. R. (orgs). *Ensino de Biologia: conhecimentos e valores em disputa*. Niterói: EDUFF, p. 50-62. 2005.

SEPEL, L.MN ÉLGION L S. LORETO. 2010: um século de *drosophila* na genética. **Genética na Escola**, v. 5, n. 2, p. 42-47, 2010.

SILVA, B. C.; SOUSA, E. C.; NASCIMENTO, L. A.; CARVALHO, H. R. Um estudo exploratório sobre a inserção da Natureza da Ciência na sala de aula em revistas da área de ensino de ciências. **Holos**, Natal, v. 32, n. 7, p. 266-280, 2015

SILVA, E. P.; DE MELLO MATTOS, M. S.. Natureza da ciência (NdC): uma revisão dos artigos sobre o tema na pesquisa em ensino de biologia no Brasil. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 7, n. 2, p. 1-24, 2022.

SILVA, F. T. O.; GATTI, S. R. T. A pesquisa acadêmica sobre a História e Filosofia da Ciência e a sala de aula: reflexões a partir dos trabalhos apresentados no **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) entre os anos de 2004 e 2014. X ENPEC**, nov 24-27, Águas de Lindóia, SP, 2015.

SILVA, G. B. da; TEODORO, D. L.; QUEIROZ, S. L. Aprendizagem cooperativa no ensino de ciências: uma revisão da literatura. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 01–30, 2019.

SILVEIRA, R. V. M.; AMABIS, J. M. Os seres vivos possuem células? O que respondem os alunos do ensino médio após um curso de genética. In: 48 **CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA. Genetics and Molecular Biology**. Águas de Lindóia, SP. São Paulo: SBG. setembro, 2002.

_____: Como os estudantes do ensino médio relacionam os conceitos de localização e organização do material genético. **IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2003.

SILVÉRIO, L. E. R.; MAESTRELLI, S. R. P. O conceito de gene como obstáculo pedagógico: repercussões no ensino e aprendizagem de genética escolar. **V Encontro Regional Sul de Ensino de Biologia–EREBIO-SUL. Londrina/PR**, 2011

SMOCOVITIS, V. B. Where are we? Some closing thoughts on the history of science and technology at the end of the millennium. **Episteme**, Porto Alegre, n. 10, p.91- 107, jan./jun. 2000

SODRÉ, A. M. N.A. U**so de drosófilas em oficinas experimentais e percepção discente acerca dos conteúdos de genética**. 2019. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ.

SOUZA, R. A. L.; PRESTES, M. E. B. Motivação e emoção no ensino de biologia: análise de sequência didática sobre a viagem de Wallace ao Brasil. **Filosofia e História da Biologia**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 233-256, 2015.

STAMHUIS, I. H.: Why the rediscoverer ended up on the sidelines: Hugo de Vries's theory of inheritance and the Mendelian laws. **Science & Education**, v. 24, n. 1, p. 29-49, 2015.

STURTEVANT, A. H. **Una Historia de la genética**. Institute of Technology, Cold Spring Harbor Laboratory Pr. con Edward B. Lewis (Introducción), 1965

SUTTON, W. S. The chromosomes in heredity. **Biological Bulletin**,Woods Hole, v. 4,p. 231-251, 1903

TANAJURA, V. S.: **Dificuldades no ensino em biologia celular na escola de educação média: considerações e apontamentos a partir de depoimentos de professores (as).** Dissertação de Mestrado, UNESP, 2017.

TAVARES, T. F.; PRESTES, M. E. B.: Pseudo-história e ensino de ciências: o caso Robert Hooke (1635-1703). **Revista da biologia**, v. 9, n. 2, p. 35-42, 2012.

THÉODORIDES, J.: **História da Biologia**. Ed. Edições 70, Lisboa, Portugal, 1984.

THIERRY, B. Integrating proximate and ultimate causation: Just one more go! **Current Science,** v. 89, n. 7, p. 1180-1183, 2005

TOLEDO, M. I. M.; MARTINS, C. M. C. Equívocos conceituais de genética apresentados por professores do ensino médio. In: **VIII ENCONTRO PERSPECTIVAS DO ENSINO DE BIOLOGIA**. USP-São Paulo, 2002.

TRIVELATO, S L F.: **Ensino de genética: um novo ponto de vista**. Feusp. São Paulo.1988.

VAIANO, B.: Nada de ratinhos: foi uma mosca que ganhou seis prêmios Nobel. Conheça a Drosophila melanogaster e entenda como ela foi de inseto doméstico a

rainha dos laboratórios. **Portal Super Interessante**, Editora Abril, publicado dia 07 de outubro de 2010. Disponível em: (https://super.abril.com.br/ciencia/nada-de-ratinhos-foi-uma-mosca-que-ganhou-seis-premios-nobel) , Acesso dia 05/06/2024.

VELOSO, AJ B.. Das ervilheiras de Mendel à dupla hélice de Watson e Crick**. Medicina Interna,** v. 10, n. 3, p. 115-122, 2003.

VIANA, L. L.; DA SILVA, N. C.. Ensino de genética na educação básica baseado nas sessões tutoriais do método PBL. **Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio**, p. 239-259, 2022.

VILAS BOAS, A.; SILVA, M. R.; PASSOS, M. M.; ARRUDA, S. D. M. História da ciência e natureza da ciência: debates e consensos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 30, n. 2, p. 287–322, 2013.

VIDOTTO, A.; BERNARDO, A., TROVÓ, A., TARGA, A., POLACHINI, G., GALEGO, L.; ARNONI, M. **A conversão do saber científico na área de genética em conteúdo de ensino: um exercício de análise.** In: 48 CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA. Genetics and Molecular Biology. Águas de Lindóia, SP. São Paulo: SBG. setembro, 2002

VOLKMANN, D.; BALUŠKA, F.; MENZEL, D.: Eduard Strasburger (1844-1912): founder of modern plant cell biology. **Protoplasma**. 2012 Oct;249(4):1163-72. doi: 10.1007/s00709-012-0406-6. Epub 2012.

WUO, M. **Leitura de artigo científico no ensino de genética**. In: 48 CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA. Genetics and Molecular Biology. Águas de Lindóia, SP. São Paulo: SBG. setembro, 2002.

ANEXO 1:

Sinopse do filme *"The Fly Room"*:

The Fly Room, dirigido por Alexis Gambis, é uma obra que mistura drama e biografia para retratar episódios da vida de Calvin Bridges, um dos cientistas que contribuiu com a consolidação da Teoria Cromossômica da Herança (TCH), e sua filha Betsy, de apenas 10 anos de idade. A trama se desenrola quando a menina é levada pelo pai ao laboratório em que ele trabalhava, conhecido como *"The Fly Room"* e chefiado por Thomas Morgan, na Universidade de Columbia (Nova Iorque/EUA). Nesse ambiente, onde eram feitas pesquisas com moscas das frutas para se desvendar os mecanismos biológicos de hereditariedade, Betsy entra em contato não apenas com o trabalho de seu pai, mas também com questões pessoais dele e dela mesma.

Ao longo do filme, Betsy observa inúmeras situações que envolvem o trabalho e o comportamento de seu pai, vive experiências marcantes e descobre coisas que a impactaram por toda sua vida. Essas experiências transformam profundamente a relação entre pai e filha, revelando segredos que alteram para sempre a dinâmica família Bridges. Através dos olhos de Betsy, o público é levado a explorar não apenas as questões científicas, mas também os desafios emocionais e pessoais enfrentados pelos pesquisadores, proporcionando um olhar mais humanizado à Ciência e aos(às) cientistas.

Calvin Bridges é apresentado como um dos pioneiros no campo da Genética, conhecido por seus experimentos com a mosca-das-fruta (*Drosophila melanogaster*). O filme destaca a importância desses experimentos ao mostrar a dedicação de Bridges e sua equipe em observar e catalogar mutações genéticas, que foram fundamentais para compreender como os genes são transmitidos de geração para geração.

A narrativa se passa nos primeiros anos do século XX, quando a Genética estava surgindo como um campo científico importante, e contextualiza esses eventos ao ilustrar a época em que a ciência começou a desvendar os mistérios da hereditariedade, destacando o impacto dessas pesquisas na área de Biologia.

"The Fly Room" é mais do que um filme biográfico; é uma reflexão sobre a intersecção entre a ciência e a vida pessoal. Alexis Gambis captura de forma sensível

a dedicação de Carl Bridges à sua pesquisa, ao mesmo tempo em que explora as complexidades de sua relação com sua filha Betsy. A obra destaca como as descobertas científicas podem moldar não apenas o entendimento do mundo, mas também as relações humanas que se desenvolvem em torno delas.

ANEXO 2:

Texto biográfico de Calvin Blackman Bridges (1889-1938):

Calvin Blackman Bridges estudou cromossomos e hereditariedade nos EUA ao longo do início do século XX. Bridges realizou pesquisas com Thomas Hunt Morgan na Universidade Columbia, em Nova Iorque, e no Instituto de Tecnologia da Califórnia, em Pasadena. Bridges e Morgan estudaram a hereditariedade em *Drosophila melanogaster*, a mosca da fruta comum. Ao longo do início do século XX, os pesquisadores estavam reunindo evidências de que os genes, ou o que Gregor Mendel chamou de fatores que controlam a hereditariedade, estão localizados nos cromossomos. Em Columbia, Morgan contestou a teoria, mas em 1916, Calvin Bridges publicou evidências que, segundo Morgan, fizeram muito para convencer os céticos dessa teoria. Bridges também estabeleceu que cromossomos específicos funcionam na determinação do sexo em *Drosophila melanogaster*.

Bridges nasceu em 11 de janeiro de 1889 em Schuyler Falls / NY, filho de Charlotte Amelia Blackman e Leonard Victor Bridges. Quando ele tinha dois anos, seu pai morreu e sua mãe morreu no ano seguinte. Após a morte dos pais, sua avó Anne Eliza Bridges o criou em sua fazenda perto de Plattsburgh / NY. Quando criança, Bridges trabalhou na fazenda de sua avó e frequentou irregularmente uma pequena escola primária nas proximidades. Aos quatorze anos, sua avó permitiu que ele frequentasse a escola em Plattsburgh. Devido à sua educação primária deficiente, Bridges frequentou uma escola de gramática por dois anos antes de frequentar a Plattsburgh High School. Em 1909, Bridges se formou na Plattsburgh High School aos vinte anos. Bridges era um aluno de honra e recebeu ofertas de bolsa de estudo da Universidade Cornell, em Ithaca / NY, e da Universidade Columbia, em Nova Iorque / NY.

Bridges aceitou a bolsa de estudos para a Universidade Columbia e começou seu curso de graduação em 1909. Durante seu primeiro ano em Columbia, ele fez um curso de biologia ministrado por Morgan. No segundo ano, Bridges conseguiu uma posição como assistente no laboratório de Morgan *(“fly room”).* Na época, Morgan estudava a hereditariedade usando *Drosophila melanogaster*, o que exigia que Morgan criasse moscas em garrafas de leite. Inicialmente, Bridges limpava as

garrafas. Em 1912, após três anos de escola, Bridges se formou em Columbia com um diploma de Bacharel em Ciências. Mais tarde naquele ano, se casou com Gertrude Frances Ives, com quem teve três filhos entre 1915 e 1921.

Depois de receber seu diploma de graduação, Bridges começou um doutorado em Columbia. Ele continuou trabalhando no laboratório de Morgan, que na época estudava o papel dos cromossomos na hereditariedade com *Drosophila melanogaster*. Os cromossomos são estruturas filamentosas encontradas dentro das células que os cientistas mais tarde estabeleceram como portadores da maioria dos materiais genéticos das células. Na década de 1900, os pesquisadores observaram que, durante a reprodução sexual, os cromossomos das células dos gametas se separavam para formar células de esperma ou óvulos com metade da quantidade de cromossomos originais. Eles observaram que células de esperma e óvulos se combinavam para formar organismos com conjuntos completos de cromossomos.

Em 1905, Edmund Beecher Wilson, um pesquisador da Universidade Columbia, observou que os machos de *Drosophila melanogaster* continham um tipo específico de cromossomo sexual, mais tarde chamado de cromossomo X, bem como outro cromossomo sexual mais tarde chamado de cromossomo Y. As fêmeas tinham dois cromossomos X e nenhum cromossomo Y. Ele perguntou se o cromossomo X desempenhava ou não um papel na determinação do sexo. Outros pesquisadores debateram que o cromossomo Y determinava o sexo em *Drosophila melanogaster*. Embora o cromossomo Y determine o sexo em humanos, Bridges descobriu que ele não tinha a mesma função naquelas moscas.

A descoberta de Bridges sobre a determinação do sexo foi informada por pesquisas que Morgan havia iniciado após a publicação de Wilson. Em 1910, Morgan observou a herança de uma característica rara nas drosófilas. A característica era olhos brancos em vez de olhos vermelhos típicos. Para que as moscas exibissem suas características que se desenvolvem a partir de fatores em seus cromossomos X, as fêmeas frequentemente precisam de duas cópias desse fator para exibi-lo, enquanto os machos precisam de apenas uma. Por essa razão, Morgan descobriu que os machos continham a característica com mais frequência do que as fêmeas. Morgan concluiu que os fatores genéticos que controlam a característica dos olhos brancos provavelmente estavam localizados no cromossomo X, chamados de características ligadas ao sexo. Sua conclusão forneceu evidências de que os cromossomos

carregam material genético, uma teoria que muitos cientistas, incluindo Morgan, não haviam aceitado no início do século XX. Além disso, foi usado na pesquisa posterior de Bridges. Bridges começou a estudar outras características que Morgan e seu laboratório haviam identificado como ligadas ao sexo e buscou entender casos em que características ligadas ao sexo não seguiam padrões de herança previstos.

Em 1913, Bridges publicou um artigo no qual propôs um mecanismo explicando padrões incomuns de herança de características ligadas ao sexo que o laboratório de Morgan havia identificado. Ele chamou o processo de não disjunção e levantou a hipótese de que os cromossomos estavam falhando em se separar durante a formação de células de esperma e óvulos. As células de esperma e óvulos resultantes, quando fertilizadas, produziam descendentes contendo números anormais de cromossomos sexuais. Em 1916, como parte de sua dissertação de doutorado, Bridges publicou um artigo no qual forneceu evidências experimentais apoiando sua hipótese de não disjunção. Esse artigo forneceu mais evidências de que os cromossomos carregam material genético. Além disso, ele concluiu que, em *Drosophila melanogaster*, o sexo é determinado pelo cromossomo X e não pelo cromossomo Y. Ele descobriu que o número de cromossomos X, em vez da presença do cromossomo Y, determinava o sexo. Por exemplo, uma mosca que adquiriu os cromossomos XXY por meio de não disjunção seria fêmea porque dois cromossomos X são suficientes para tornar uma mosca fêmea, independentemente da presença ou ausência de um cromossomo Y. Em humanos, o cromossomo Y determina o sexo.

Em 1916, Bridges concluiu seu doutorado na Universidade Columbia com Morgan como seu orientador. Bridges continuou a pesquisar no laboratório de Morgan através de fundos que o laboratório havia recebido da Carnegie *Institution of Washington*, em Washington D.C. Em 1919, Bridges tornou-se funcionário extramuros da *Carnegie Institution*, que lhe proporcionou estabilidade e uma pensão. Enquanto estava na Columbia, a *Carnegie Institution* pagava Bridges através de Morgan. Segundo o historiador da ciência Robert Kohler, esse arranjo resultou em Bridges sendo dependente de Morgan para financiar sua pesquisa.

Bridges permaneceu na Universidade Columbia até 1928. Segundo Morgan, ele foi amplamente responsável por produzir e manter extensos registros de mutantes, que eram moscas que possuíam características diferentes das normais, ou do tipo selvagem. Um exemplo de mutante é o mutante de olhos brancos que amobs haviam

estudado anteriormente. Após o laboratório de Morgan encontrar o mutante de olhos brancos e outros mutantes, eles usaram essas informações para criar mapas genéticos, que exibiam as posições dos fatores ao longo do cromossomo. Usando essas informações, em 1919 e 1923, Sturtevant e Morgan publicaram mapas genéticos de cromossomos inteiros. Esses mapas informaram pesquisas posteriores de *Drosophila melanogaster* sobre a natureza física da hereditariedade e os mecanismos que a controlam.

Em 1928, Bridges, Morgan e outros membros do laboratório de Columbia se mudaram para o Instituto de Tecnologia da Califórnia, em Pasadena. Bridges estava afastado de sua esposa e sua família não se mudaram para a Califórnia com ele. Segundo Kohler, Bridges tinha um estilo de vida privado promíscuo que complicava sua vida familiar e carreira. Ao longo de sua carreira, Bridges visitou o *Cold Spring Harbor Laboratory* em Cold Spring / NY. Em 1933, antes de uma de suas visitas, o laboratório pediu a Bridges que não tivesse casos com nenhum de seus funcionários.

No Instituto de Tecnologia da Califórnia, Bridges continuou seu trabalho com *Drosophila melanogaster* até sua morte. Em 1934, Bridges criou mapas genéticos de cromossomos superdimensionados encontrados nas glândulas salivares dessas moscas. Como esses cromossomos são muito maiores do que os cromossomos normais, Bridges foi capaz de localizar visualmente a posição dos fatores genéticos. Ele também editou várias edições do *Drosophila Information Service*, um jornal que publicava informações sobre novos mutantes e métodos experimentais. O *Drosophila Information Service* trocava livremente informações entre pesquisadores de *Drosophila melanogaster* e padronizava as práticas usadas por eles.

Bridges foi reconhecido por suas muitas contribuições ao campo emergente da genética. Em 1933, Morgan recebeu o Prêmio Nobel de Fisiologia por sua pesquisa estabelecendo o papel do cromossomo na hereditariedade. Morgan reconheceu Bridges e Sturtevant por suas contribuições à pesquisa. Em 1938, Bridges morreu de problemas cardíacos, prováveis complicações da sífilis, aos 49 anos.

Fonte: GLEASON, K.: "Calvin Blackman Bridges (1889-1938)". Arizona State University. School of Life Sciences. Center for Biology and Society. **Embryo Project Encyclopedia**. 2019. Disponível para acesso em https://embryo.asu.edu/pages/calvin-blackman-bridges-1889-1938 (Acesso em 05/07/2024).

ANEXO 3:

Reportagem sobre Nettie Stevens.

Nettie Stevens, o cromossomo Y e a complexa biologia da determinação sexual

Leandro Lobo
Instituto de Microbiologia Paulo de Góes
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Geneticista norte-americana decifrou, no início do século 20, a incógnita sobre como é definido o sexo biológico na reprodução, mas não teve seu trabalho devidamente reconhecido em vida por ser mulher em uma comunidade científica dominada por homens

CRÉDITO: FOTO CORTESIA, BRYN MAWR COLLEGE SPECIAL COLLECTIONS

Antes de tudo, é importante destacar que, neste texto, o termo sexo será utilizado para descrever as diferenças anatômicas entre indivíduos do sexo masculino e feminino, enquanto gênero será usado para se referir a uma construção sociocultural multidimensional que inclui identidade e comportamentos. Agora, vamos aos "bastidores" que queremos relembrar...O mecanismo da determinação do sexo biológico das espécies durante a reprodução foi uma incógnita por séculos. A teoria predominante era que a atuação das condições ambientais sobre a fêmea da espécie definiria o sexo da prole. Na Grécia antiga, por exemplo, para formular sua teoria, Aristóteles (384-322 AC) se apropriou dos escritos de outro filósofo, Empédocles (495-430 AC), para quem os organismos são compostos de diferentes proporções dos quatro elementos: fogo, água, ar e terra. Aristóteles, por sua vez, acreditava que a temperatura interna da mãe era crucial para definir o sexo do feto: quando mais quente, moldava uma criança do sexo masculino, considerado ativo e dominante; se fosse mais fria, resultaria num bebê do sexo feminino, tido como mais passivo e fraco.

Ao longo dos séculos, seguiram-se inúmeras tentativas de explicar por que um feto se desenvolve em um indivíduo sexo masculino ou feminino. A partir do século 17, a ciência começou a desvendar os meandros da anatomia da reprodução em humanos. Regnier de Graaf (1641-1673) descobriu os folículos ovarianos e descreveu a ovulação; Antoine Van Leeuwenhoek (1632-1723) observou os espermatozoides em 1677, e o óvulo foi descoberto por Karl Von Baer (1792-1876) em 1872. Mas sem o conhecimento de genética, ou da existência do DNA e da hereditariedade, essas teorias se prendiam a influências do ambiente no desenvolvimento embrionário, como a nutrição e a posição do embrião no útero materno.

Foi apenas no início do século 20 que esse segredo começou a ser desvendado pela bióloga e geneticista norte-americana Nettie Maria Stevens (1861-1912), responsável por contribuições significativas para o campo da citogenética (ramo da biologia que estuda os cromossomos e seu papel na hereditariedade).

Nettie perdeu a mãe aos 2 anos, mas seu pai, um carpinteiro habilidoso, teve meios para bancar a educação superior de suas duas filhas. Aluna exemplar, Nettie estudou na Westfield Normal School (hoje Westfield State University). Após se formar, foi professora e bibliotecária. Seu objetivo era juntar dinheiro suficiente para perseguir seu sonho: se tornar cientista. Em 1896, aos 35 anos, ela se matriculou na Universidade de Stanford, onde obteve seu diploma de mestrado em ciências em 1900. No ano seguinte, publicou seu primeiro artigo sobre o ciclo de vida de protozoários ciliados e descreveu duas novas espécies de protozoários.

Sua brilhante passagem por Stanford a colocou em uma posição de destaque, e ela foi aceita na Universidade de Bryn Mawr, na Pensilvânia, para o doutorado. Foi diplomada em 1903, feito impressionante para qualquer mulher seguindo uma carreira científica na época.

Em 1900, as publicações de Gregor Mendel (1822-1884) delineando os princípios da hereditariedade haviam sido redescobertas, e o campo da citologia genética estava em polvorosa. O papel dos cromossomos na hereditariedade era fervorosamente discutido no meio científico, com embates entre apoiadores e detratores. Em 1903 Nettie passou a se interessar pela questão da determinação do sexo e aplicou com sucesso para uma bolsa de estudos da famosa Carnegie Institution of Washington.

Sua grande contribuição foi a descoberta dos cromossomos sexuais, especificamente a existência do sistema de determinação do sexo pela presença do cromossomo Y, em muitas espécies. Cromossomos são estruturas que ficam no núcleo das células, e são formadas pelo DNA da célula todo empacotado. São os grandes arquivos da célula, contendo toda informação genética dos organismos. Nossos genes, por exemplo, estão armazenados em 46 cromossomos nas nossas células somáticas (aquelas que formam os nossos órgãos e tecidos). Já as células germinativas (óvulos e espermatozoides) contêm 23 cromossomos cada, e, quando se combinam, formam um embrião contendo os 46 cromossomos que carregamos pelo resto da vida.

Em 1905, Nettie publicou a primeira parte do livro “Estudos em espermatogênese”, na qual apresenta os resultados de seus estudos rastreando o comportamento dos cromossomos na reprodução de coleópteros – ordem de insetos composta pelos besouros. Nesse estudo, ela incluiu cupins (*Termopsis angusticollis*) e grilos (*Stenopelmatus* spp.), mas foram as larvas-da-farinha (*Tenebrio molitor*) que chamaram a atenção. Ela percebeu que as células somáticas das larvas-da-farinha fêmeas tinham 20 cromossomas grandes, enquanto as células dos machos tinham 19 cromossomos grandes e 1 de menor tamanho. Quando olhou para as células germinativas, percebeu que os óvulos tinham 10 cromossomos grandes, enquanto as células germinativas dos machos tinham 9 cromossomos grandes e 1 pequeno.

Nas palavras da própria autora:

> *"Este parece ser um caso claro de determinação do sexo, não por um cromossomo acessório, mas por uma diferença definida no caráter dos elementos de um par de cromossomos dos espermatócitos de primeira ordem, os espermatozoides que contêm o pequeno cromossomo determinante do sexo masculino, enquanto aqueles que contêm 10 cromossomos de igual tamanho determinam o sexo feminino."*

Nettie chamou esses diferentes cromossomos de heterocromossomos e os categorizou como L (para *large*, grande) ou S (*small*, pequeno), e descreveu que eles seguem as leis de herança mendelianas: a presença (ou ausência) do cromossomo Y corresponde à determinação do sexo. O nome do cromossomo Y foi alterado anos mais tarde apenas para seguir a ordem alfabética do cromossomo X, descoberto e nomeado em 1890 por Hermann Henking (1858-1942) – ele não tem a forma da letra Y.

O trabalho de Nettie forneceu evidências para a teoria cromossômica da hereditariedade e desafiou a noção predominante de que a determinação do sexo era exclusivamente ditada por fatores ambientais. Assim, abriu caminhos para pesquisas sobre o papel dos cromossomos na genética e na determinação do sexo, estabelecendo as bases para avanços no campo.

Apesar disso, a pesquisadora enfrentou discriminação na comunidade científica dominada por homens. Precisou lutar por uma posição de pesquisa permanente e enfrentou dificuldade para ser reconhecida por seu trabalho em vida. Postumamente, foi reverenciada como uma pioneira da citogenética, mas é irônico que a descobridora da importância do cromossomo Y para a determinação do sexo não tenha recebido crédito por não possuir um cromossomo Y.

Quanto ao papel dos cromossomos na determinação biológica e a cansativa claque que defende o mantra "XX é mulher, XY é homem", pedimos que se informem. As descobertas de Nettie abriram avenidas de conhecimento, mas a biologia da determinação sexual é mais complexa do que os ensinamentos do ensino médio. O sexo biológico humano é determinado por muito mais do que a presença ou ausência do cromossomo Y. Hoje podemos distinguir o sexo cromossômico, hormonal, genital, cerebral e identidade sexual como diferentes quesitos que se enquadram em um espectro. E muitos cientistas defendem que a insistência em um sistema de dois sexos deve ser revisitada para acomodar a diversidade que podemos distinguir na fisiologia humana.

Fonte:

LOBO, L.: Nettie Stevens, o cromossomo Y e a complexa biologia da determinação sexual**.** **Portal Ciência Hoje**, julho de 2023. Disponível em: https://www.cienciahoje.org.br/artigo/nettie-stevens-o-cromossomo-y-e-a-complexa-biologia-da-determinacao-sexual/. Acesso em 15/07/2024.

ANEXO 4:

Texto sobre contribuições de cientistas mulheres na História da Genética.

Dia da Mulher: grandes nomes na genética

Equipe Mendelics

7 de março de 2024

Em 8 de março celebramos mundialmente o Dia da Mulher, que visa colocar em foco as contribuições e conquistas das mulheres nos âmbitos social, cultural, econômico, político e tecnológico.

Anualmente, a Organização das Nações Unidas (ONU) escolhe um tema para o Dia Internacional da Mulher, trazendo à tona pontos que merecem ser discutidos e reforçando a importância dos direitos das mulheres e de assegurar que todas as meninas e mulheres vivam e atinjam seus potenciais plenamente.

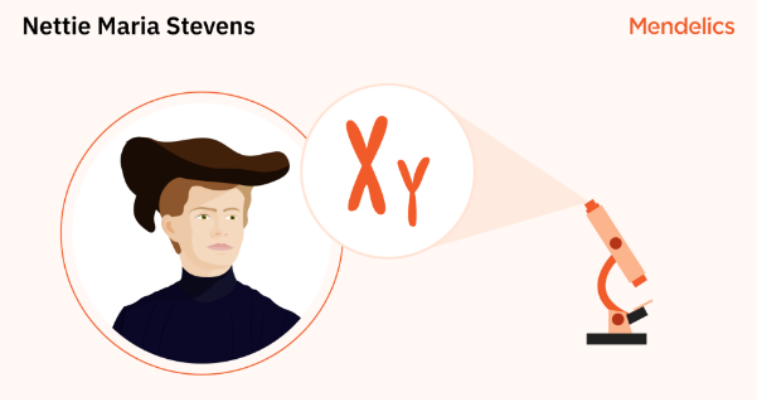
Mulheres na ciência.

Durante séculos, mulheres não puderam ingressar em universidades ou cursar certas disciplinas. Muitas cientistas foram ignoradas por instituições de pesquisa, pelos comitês do Prêmio Nobel, entre outros, e deixaram de ser reconhecidas pelo simples fato de serem mulheres.

Segundo as Nações Unidas, as mulheres atualmente representam 33% dos pesquisadores, mas somente 12% dos membros das academias de ciências.

Conheça algumas das cientistas que revolucionaram a ciência e são exemplos de superação e perseverança nos meios acadêmicos.

Nettie Maria Stevens (1861 – 1912):



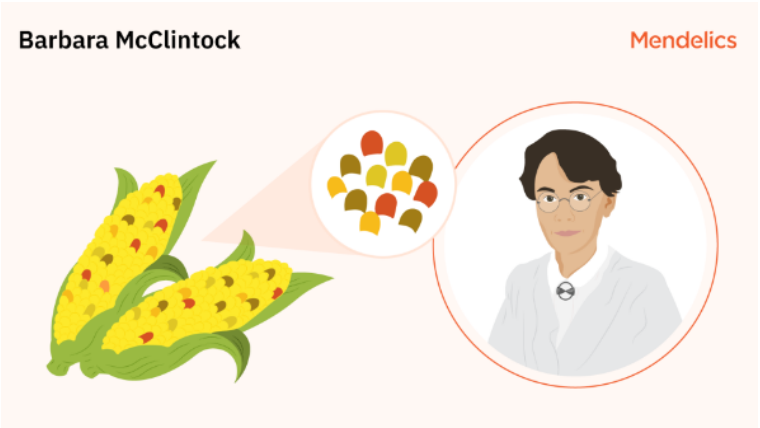
Nettie Stevens foi uma das primeiras mulheres com uma carreira dedicada à pesquisa nas ciências biológicas. Suas descobertas foram essenciais para a compreensão de como os cromossomos determinam o sexo.

Formada em biologia pela Leland Stanford University, Nettie se dedicou ao estudo dos cromossomos desde seu mestrado. Devido ao seu excelente trabalho, conseguiu uma bolsa para desenvolver seus estudos no Instituto de Zoologia de Würzburg, na Alemanha. Após terminar seu doutorado no Colégio Bryn Mawr, conseguiu uma posição de assistente no Instituto Carnegie, onde publicou seus mais importantes estudos.

Em 1903, Nettie Stevens teve seu trabalho publicado pelo instituto onde trabalhava. No artigo ela mostrava como a quantidade e tamanho dos cromossomos determinavam o sexo de uma espécie de besouro (*Tenebrio molitor*). Nos anos seguintes, a pesquisadora demonstrou que o mesmo conceito também era verdadeiro para outras espécies de insetos.

Nettie Stevens morreu em 1912 de câncer de mama. Seu trabalho desmistificou como o sexo biológico era determinado e deu início a diversos estudos sobre hereditariedade.

Barbara McClintock (1902 – 1992):



Barbara McClintock foi pioneira na área de citogenética e a primeira mulher a receber sozinha o Prêmio Nobel de Medicina, sendo considerada até hoje uma das pessoas mais importantes para a genética. Seus estudos levaram à descoberta dos transposons, os "elementos móveis" do DNA.

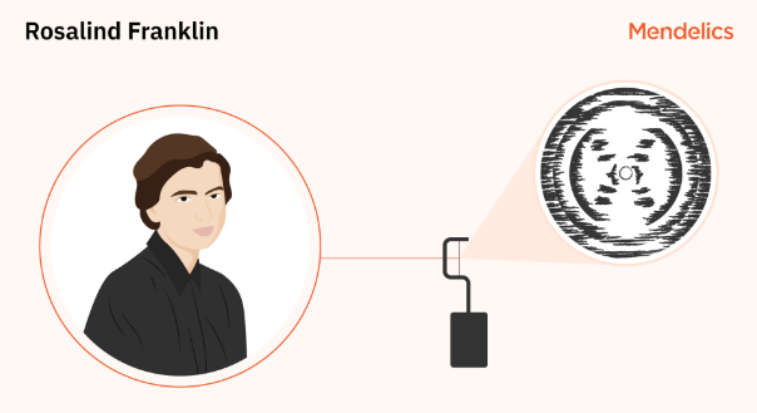
Sua formação em genética se deu na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos, desde sua graduação até o seu doutorado. Posteriormente, durante seu trabalho no Instituto Carnegie em Washington, Barbara demonstrou que alguns trechos do DNA, chamados transposons, podem mudar de posição no cromossomo, alterando a ativação dos genes próximos a eles.

Essa descoberta foi negligenciada durante anos, até que outros estudos comprovaram a existência dos transposons em bactérias nas décadas de 1960 e 1970. Hoje sabemos que os transposons têm um importante papel na manutenção da variabilidade genética e estão envolvidos também no surgimento de doenças genéticas.

Em 1983, aos 81 anos, Barbara Mcclintock foi laureada com o Prêmio Nobel de Medicina, uma das poucas mulheres a receber essa honraria. Ela faleceu em 1992, aos 90 anos de idade, mas seu legado vive até hoje nas mais diversas pesquisas na área da citogenética.

A citogenética é uma área da genética que estuda os cromossomos, suas funções e alterações.

Rosalind Elsie Franklin (1920 – 1958):



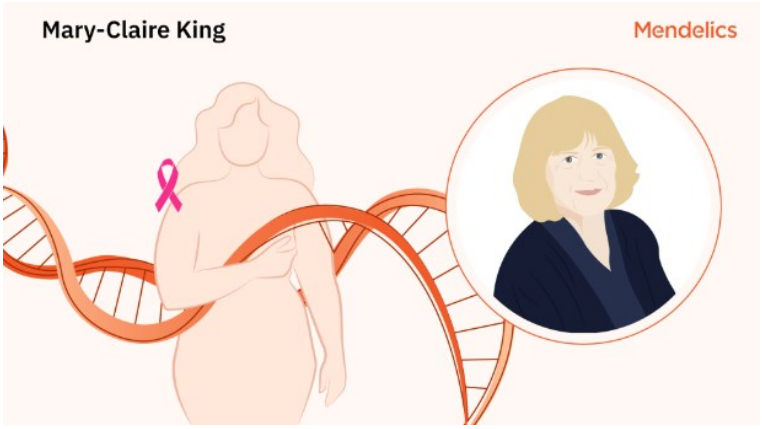
Rosalind Franklin se formou em química na década de 1940 e se especializou no estudo de estruturas cristalinas. Sua pesquisa sobre a estrutura do DNA através de raio-X foi essencial para a elucidação da organização desse material genético

Rosalind se destacou por sua grande habilidade no estudo de estruturas cristalinas, o que lhe rendeu uma vaga para estudar a estrutura do DNA, desconhecida até então, na King's College em Londres, como pesquisadora independente. Infelizmente, sua chegada foi mal interpretada por outro pesquisador, Maurice Wilkins, que acreditava que ela seria sua assistente. A relação entre os dois era conturbada e dificultava a colaboração entre as equipes.

Rosalind foi responsável pela famosa foto 51 que deu base ao modelo de estrutura do DNA em dupla hélice proposto por James Watson e Francis Crick, em 1953. Franklin apresentou suas descobertas sobre a estrutura do DNA em um simpósio que foi visto por Wilkins, Watson e Crick. Correspondências entre os três pesquisadores mostram que eles se basearam nos dados experimentais de Rosalind para propor a estrutura, que foi publicada sem o devido reconhecimento da pesquisadora.

Rosalind Franklin faleceu de câncer quatro anos antes de Wilkins, Watson e Crick receberem o Prêmio Nobel de Química pela descoberta da estrutura do DNA em 1962. Como o comitê do não concede premiações póstumas, Rosalind não foi devidamente reconhecida por sua contribuição. Até hoje a sua história é conhecida como uma das grandes injustiças contra mulheres na ciência.

Mary-Claire King (1946 -):

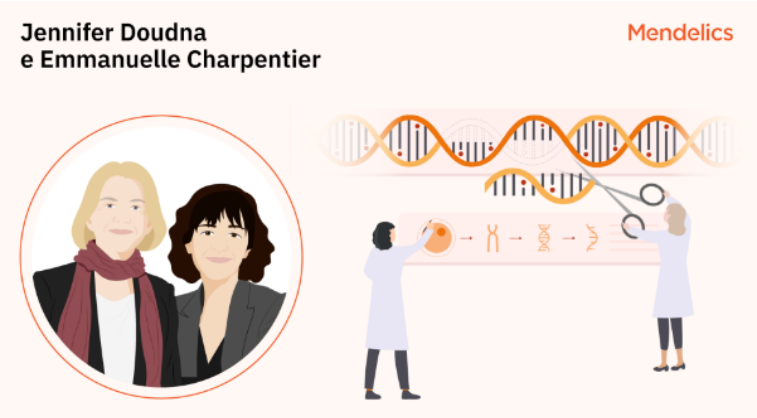


Mary-Claire King é uma das cientistas mais influentes do campo da genética, contribuindo imensamente para o estudo da biologia evolutiva e de populações e pioneira no estudo do câncer hereditário de mama e ovário.

Formada em matemática e estatística, Mary-Claire se apaixonou pela genética durante seu doutorado e decidiu seguir carreira na área. Em 1975, dois anos antes do desenvolvimento do sequenciamento Sanger e décadas antes do surgimento das tecnologias de Sequenciamento de Nova Geração (NGS), ela demonstrou em um estudo publicado na revista Science que humanos e chimpanzés compartilham cerca de 99% dos seus genomas.

A cientista dedicou boa parte de sua vida profissional ao estudo de genes causadores de câncer de mama e ovários hereditários em mulheres, e publicou suas primeiras descobertas em 1990. Até então não haviam provas de que o câncer pudesse ser causado por mutações herdadas. Seus estudos levaram ao mapeamento do gene BRCA1 e foram essenciais para a prevenção, diagnóstico e tratamento de cânceres hereditários. A história de Mary-Claire King e a descoberta do gene BRCA1 foram retratadas no filmeDecoding Annie Parker.

Jennifer Doudna (1964 -) e Emmanuelle Charpentier (1968 -):



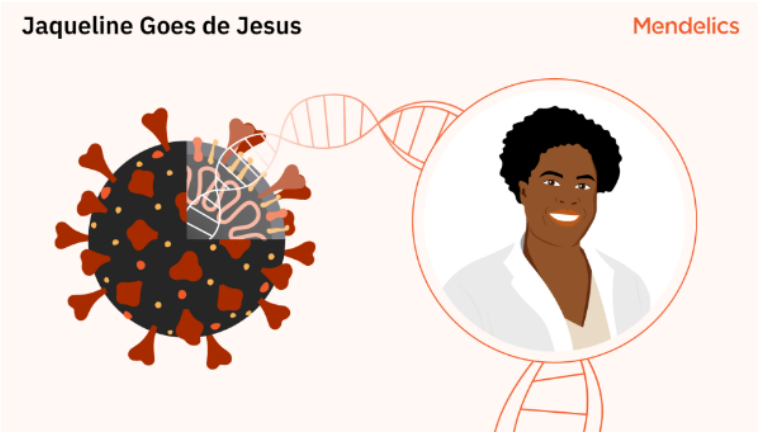
A bioquímica Jennifer Doudna e a microbiologista Emmanuelle Charpentier foram as mulheres responsáveis pela descoberta de um mecanismo molecular de edição de DNA que rendeu a elas o Prêmio Nobel de Química em 2020.

Em 2011, Emmanuelle identificou que o sistema CRISPR/Cas encontrado em bactérias era acompanhado de uma molécula de RNA, chamada de trackRNA, que guiava o sistema para cortar sequências específicas do material genético de vírus invasores. E se esse complexo molecular que faz parte do sistema de defesa de bactérias fosse reprogramável?

A fim de testar sua hipótese, Emmanuelle e Jennifer iniciaram uma parceria para desenvolver uma metodologia de edição genética utilizando o sistema CRISPR de bactérias, mas que fosse reprogramável para qualquer trecho do material genético de qualquer espécie. O resultado foi uma metodologia simples, barata e versátil de edição genética publicada na revista Science.

As pesquisadoras fizeram história como a primeira dupla de mulheres a ganhar o Prêmio Nobel de Química. A premiação foi muito merecida dado a grande relevância da tecnologia CRISPR em diversas áreas da ciência, desde o desenvolvimento de alimentos resistentes à pragas até novos tratamentos para doenças genéticas.

Jaqueline Goes de Jesus (1989 -):



Jaqueline Goes de Jesus é uma jovem pesquisadora brasileira que se destacou por liderar a equipe que sequenciou o novo coronavírus no Brasil pela primeira vez e em tempo recorde no mundo todo.

Biomédica e doutora em patologia, Jaqueline tem ampla experiência com o sequenciamento de genomas virais: integrou o Projeto Zibra que sequenciou o vírus zika, liderou a equipe que sequenciou o SARS-CoV-2 no Brasil, utilizando a metodologia Nanopore, e atualmente se dedica ao estudo dos vírus da dengue.

Jaqueline Goes de Jesus ganhou grande destaque em 2020 durante a pandemia do novo coronavírus. Sua equipe obteve o genoma completo do vírus em menos de 48h após a confirmação do primeiro caso brasileiro, tempo recorde no mundo até o momento.

Ela também é integrante do CADDE (Centro Conjunto Brasil – Reino Unido para Descoberta, Diagnóstico, Genômica e Epidemiologia de Arbovírus), um projeto de monitoramento de epidemias para respostas em tempo real.

Apesar de ainda serem minoria no meio acadêmico e lidarem com as desigualdades diariamente, as mulheres são protagonistas do desenvolvimento científico no mundo todo.

Com esse post, deixamos uma singela homenagem a todas as mulheres que dedicam suas carreiras à ciência, em especial às nossas extraordinárias mulheres mendelianas que se empenham na missão da Mendelics de tornar o diagnóstico genético rápido, preciso e acessível.

Fonte:

MARCORIN, L.; TANIGUTI, N.: Dia da Mulher: grandes nomes na genética. **Blog Mendelics**, março de 2024. Disponível em: https://blog.mendelics.com.br/dia-da-mulher-grandes-nomes-na-genetica/ . Acesso em 15/07/2024.