

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E
TECNOLÓGICA**

**A CONTRIBUIÇÃO DA HISTÓRIA DA BIOLOGIA NA FORMAÇÃO INICIAL DE
PROFESSORES DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

Tese submetida ao Colegiado do
Curso de Doutorado em Educação
Científica e Tecnológica em
cumprimento parcial para a
obtenção do título de Doutor em
Educação Científica e Tecnológica.

Autora: Neusa Maria John Scheid
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Nadir Ferrari

Florianópolis, março de 2006



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E
TECNOLÓGICA - CURSO DE DOUTORADO

“A CONTRIBUIÇÃO DA HISTÓRIA DA BIOLOGIA NA FORMAÇÃO INICIAL
DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS”

Tese submetida ao Colegiado do
Curso de Doutorado em Educação
Científica e Tecnológica em
cumprimento parcial para a
obtenção do título de Doutor em
Educação Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 13/03/2006

Dra. Nadir Ferrari (CCB/UFSC - Orientadora)

Dra. Maria Helena da Silva Carneiro (FAE/UNB - Examinadora)

Dr. Darcy Fontoura de Almeida (IBCCF/UFRJ - Examinador)

Dra. Nadir Castilho Delizoicov (PPGE/UNOESC - Examinadora)

Dr. Paulo Roberto Petersen Hofmann (CCB/UFSC - Examinador)

Dra. Suzani Cassiani de Souza (CED/UFSC - Suplente)

Dr. Frederico Firmo de Souza Cruz (CFM/UFSC – Suplente)

Dr. José André Peres Angotti
Coordenador do PPGET

Neusa Maria John Scheid

Florianópolis, Santa Catarina, março de 2006

“Tarde, muito tarde, descobri a verdadeira natureza da ciência, de seu processo, dos homens que a produzem. Compreendi que (...) a marcha da ciência não consiste de uma seqüência de conquistas inelutáveis; que ela não percorre a régia estrada da razão humana; que ela não é o resultado necessário, o produto inevitável de observações sem apelo impostas pela experimentação e pelo raciocínio. Encontrei nela um mundo de jogo e de imaginação, de manias e de idéias fixas. (...) aqueles que atingiam o inesperado e inventavam o possível, não eram simplesmente homens de saber e de método. Eram sobretudo espíritos insólitos, amantes da dificuldade, seres com visões absurdas (...), estranhas misturas de indiferença e de paixão, de rigor e de bizzarria, de vontade de poder e de ingenuidade. É o triunfo da singularidade.”

(JACOB, François, 1987, p. 12-13)

(Encontrado em sua autobiografia: **La Statue Intérieure**, ed. Odile Jacob, Seuil, 1987).

A todos os professores de **Ciências Biológicas**,
inquietos e persistentes, engajados na construção de um
mundo melhor através da educação científica.

AGRADECIMENTOS

Tenho presente que não é uma tarefa fácil nomear a todos que contribuíram para a realização deste trabalho ao longo desses quatro anos. Além disso, a gratidão é algo que dificilmente se consegue exprimir em palavras, mas vou tentar agradecer especialmente:

À Professora Doutora **Nadir Ferrari**, que, além da competente e criteriosa orientação acadêmica, foi uma amiga incentivadora e um exemplo de profissional, uma parceira de ideais e de buscas por uma educação científica e tecnológica, construtora de uma sociedade mais humana.

Ao Professor Doutor **Demétrio Delizoicov**, que foi decisivo na constituição do meu **ver formativo**, possibilitando, a partir do estudo de Ludwik Fleck, a ampliação de minha visão epistemológica, tão importante na educação em Ciências.

À Professora Doutora **Maria Cristina Pansera de Araújo** do Programa de Pós-Graduação em Educação nas Ciências, da UNIJUÍ, que muito admiro pela competência profissional e pelas qualidades pessoais, por ter me iniciado no campo da reflexão epistemológica.

Aos colegas do PPGECT, pelo convívio amigo e pelas trocas de experiências sempre enriquecedoras, em especial às colegas **Noemi Boer** e **Vera Lúcia Bahl de Oliveira**, pelos dias de estudos com rodas de chimarrão e pela importante amizade que construímos.

A todos os professores do PPGECT, pelos desafios propostos e caminhos indicados. Dentre eles, destaco a Professora Doutora **Vivian Leyser da Rosa**, que me lançou o primeiro desafio: a inscrição para a seleção na primeira turma de doutorado do PPGECT, e que sempre esteve presente com seu incentivo e apoio. À Professora Doutora **Sylvia Maestrelli** do NUEG, pela acolhida e pelas trocas de idéias, além do saboroso chá.

À direção da URI-Campus de Santo Ângelo, pelo apoio que proporcionou meu aperfeiçoamento profissional.

Aos colegas professores do Departamento de Ciências Biológicas da URI-Santo Ângelo, especialmente à **Briseidy Marchesan Soares** e à **Maria Lorete Thomas Flores**, que tiveram suas atividades aumentadas durante meu afastamento, pela amizade e incentivo em todos os momentos.

Aos estudantes do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI) – *Campus* de Santo Ângelo, que possibilitaram a pesquisa e a reflexão sobre a formação inicial, contribuindo para uma melhoria do processo ensino-aprendizagem de Ciências Biológicas.

Aos meus familiares e amigos que sempre acreditaram e me incentivaram para prosseguir minha jornada de estudos e pesquisas, em especial ao **Ademar Scheid**, meu companheiro muito especial, por me proporcionar muitas das condições de produção desta tese.

Ao **Éder John Scheid** e ao **Amir John Scheid**, meus filhos queridos, que, pelas suas presenças tão carinhosas, são motivo maior das minhas buscas.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	12
1. A GENÉTICA NA ATUALIDADE E SEU ENSINO-APRENDIZAGEM	19
1.1. A importância da Genética contemporânea.....	19
1.2. Implicações sobre o processo ensino-aprendizagem de Genética.....	24
1.3. A contribuição da História e da Filosofia da Ciência no ensino de Genética e de Biologia.....	31
1.4. Repercussões sobre a formação de professores de Ciências Biológicas.....	34
2. O MODELO DE DUPLA HÉLICE DO DNA	41
2.1. A importância do modelo.....	41
2.2. A construção do conhecimento.....	43
2.3. A interdisciplinaridade.....	53
2.4. Implicações para o fazer e para o aprender Ciência.....	66
3. COMO INVESTIGAR O QUE ESTUDANTES ENTENDEM SOBRE A NATUREZA DA CIÊNCIA	70
3.1. Concepções sobre a natureza da Ciência e educação em Ciências.....	70
3.2. Elaboração dos instrumentos de pesquisa.....	75
3.3. Caracterização dos sujeitos da pesquisa.....	85
4. IMAGENS SOBRE CIÊNCIA DE ESTUDANTES DE UM CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS	88
4.1. Contextualização inicial.....	88
4.2. Imagem de Ciência predominante entre os estudantes.....	90
4.3. A compreensão do processo de construção da Ciência.....	93
4.4. A (não) neutralidade da Ciência.....	102
5. PROPOSTAS PARA A FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS	109
5.1. Considerações iniciais	109
5.2. Formação em Epistemologia e História da Ciência.....	110

5.3. Participação em atividades coletivas para a produção de saberes.....	118
5.4. Conexão entre Biologia e Ética.....	123
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130
7. REFERÊNCIAS	135
LISTA DE ANEXOS.....	148

LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADROS

1. **Quadro I:** Resposta da estudante sobre a possibilidade de ver a dupla hélice a partir da fotografia B.....94
2. **Quadro II:** Fragmento de entrevista na qual se manifesta a importância atribuída ao experimento para a Ciência.....95
3. **Quadro III:** Fragmento de entrevista que manifesta a compreensão que a estudante tem de descoberta científica.....97
4. **Quadro IV:** Fragmento de entrevista que manifesta a confiança da estudante na informação dada pelos livros.....98
5. **Quadro V:** Respostas dos estudantes à indagação sobre modelos em Ciências.....99

TABELAS

1. **Tabela I:** Fontes de informação sobre assuntos relacionados à Genética utilizadas pelos graduandos do curso de Ciências Biológicas da URI-Santo Ângelo, 1º/2000..... 36
2. **Tabela II:** Idade e sexo dos sujeitos da pesquisa..... 86
3. **Tabela III:** Síntese das respostas dos graduandos sobre a possibilidade do conhecimento científico mudar no futuro.....91
4. **Tabela IV:** Justificativas de entrevistados favoráveis à possibilidade dos cientistas serem os únicos envolvidos na decisão de liberar ou não os transgênicos para consumo humano..... 104
5. **Tabela V:** Comentários dos estudantes em relação à afirmação de que as decisões científicas levam em consideração o bem estar da humanidade, enquanto as regras do mercado econômico visam a maior parcela do lucro possível..... 106

RESUMO

A presente tese teve, como foco, a contribuição do uso da História da Biologia num curso de formação inicial de professores de Ciências Biológicas. A partir do pressuposto de que a concepção de Ciência do professor tem repercussões na forma de ensinar conteúdos científicos, especialmente temas mais polêmicos como são os relacionados à Biologia Molecular, utilizou-se a perspectiva epistemológica de Ludwik Fleck para: i) investigar os aspectos epistemológicos presentes na construção de um fato científico importante para a Ciência contemporânea, no caso a proposição de uma estrutura para o DNA; ii) investigar as concepções sobre a natureza da Ciência em estudantes de um curso de Ciências Biológicas; iii) verificar o conhecimento que os estudantes possuem da história da Biologia Molecular, bem como a importância que atribuem às biotecnologias, originadas a partir do desenvolvimento dessa área, e às implicações éticas do uso das novas biotecnologias. O trabalho empírico consistiu na realização de entrevistas semi-estruturadas e na aplicação de questionário envolvendo 31 estudantes de um Curso de Ciências Biológicas. Os resultados corroboraram pesquisas anteriores e sugeriram a necessidade de repensar a forma de ensinar/aprender Biologia. Para possibilitar uma formação inicial que proporcione uma educação científica atenta às exigências decorrentes do atual estado do conhecimento científico e suas aplicações tecnológicas, foram elaboradas algumas propostas de intervenção. Acredita-se que a implementação dessas propostas fornecerá os subsídios para preparar profissionais qualificados para atender aos desafios que a educação científica apresenta na contemporaneidade.

Palavras-chave: Natureza da Ciência, formação de professores, epistemologia da Ciência, Fleck.

ABSTRACT

This thesis focus on the contribution of the History of Biology in preparing preservice teachers of Biological Sciences. Assuming that the way teacher's teach scientific concepts is influenced by his conceptions about Science, specially when dealing with controversial issues, such as those related to Molecular Biology, the epistemological perspective of Ludwik Fleck has been adopted in order to: i) to study the epistemological aspects involved in the production of a scientific fact, the proposition of a model structure for DNA; ii) to examine the conceptions about the nature of Science expressed by Biology undergraduate students; iii) to assess students knowledge about the history of Molecular Biology, as well as the importance they attribute to bio-technologies, brought forth in this area of knowledge, and to the ethical consequences of the use of new bio-technologies. The empirical work involved 31 Biological Sciences students, who answered a questionnaire and were interviewed. The results were in agreement with previous researches and suggested the necessity to rethink the process of teaching and learning Biology. Some propositions have been given in order to enable a scientific education more suitable to nowadays context. The aim of these propositions was to help preparing professionals qualified to face the challenges scientific education presents nowadays.

Key-Words: Nature of science, teachers preparation, epistemology of science, Fleck.

APRESENTAÇÃO

Meu envolvimento com a formação de professores iniciou-se na década de setenta quando, ao finalizar o curso de primeiro grau, atualmente denominado Ensino Fundamental, optei pelo curso de Magistério. Em seguida, fiz vestibular e fui aprovada para o curso de Licenciatura em Ciências na Universidade de Ijuí. Esses primeiros passos encaminharam-me para uma maior inserção na formação de professores. Inicialmente, em 1981, trabalhei num curso de Magistério e, em 1989, ingressei como professora no curso de Licenciatura em Ciências da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Campus de Santo Ângelo. Desde então comecei a preocupar-me com a questão da aprendizagem dos conteúdos de Ciências.

Discutir e repensar o ensino de Ciências sempre foi um tema que me despertou grande interesse e me fazia sentir a necessidade de buscar mais conhecimentos teóricos e práticos, principalmente através da pesquisa em educação nas Ciências.

Durante o Mestrado, a preocupação central foi em relação à aprendizagem dos conceitos de Genética e as implicações na docência. A metodologia desenvolvida durante a produção da dissertação propiciou uma reflexão sobre minha prática como professora responsável pelas disciplinas de Genética, de Metodologia do Ensino de Ciências e Biologia e de Prática de Ensino em Biologia. A constatação de que a formação inicial de professores de Ciências Biológicas vem apresentando dificuldades, especialmente na área da Genética, e a reflexão sobre a própria prática

pedagógica, foram minhas motivações ao buscar o Programa de Doutorado em Educação Científica e Tecnológica.

A revisão teórica realizada indicou que a discussão sobre a inclusão da História e Filosofia da Ciência – HFC - com o fim de auxiliar na compreensão do processo de produção do conhecimento, nos cursos das áreas científicas, vem acontecendo em muitos dos espaços onde se pensa a formação, inicial e continuada, de professores dessas áreas. Isso reforça minha convicção de que, ao introduzir aspectos de HFC no ensino da Genética, e da Biologia em geral, podemos contribuir para uma melhor compreensão dos estudantes sobre o modo como se constrói e como se desenvolve a Ciência, sobre as repercussões sociais desse conhecimento e, conseqüentemente, para a melhoria do processo ensino-aprendizagem.

A presente tese teve como foco a contribuição que o uso da HFC, num curso de formação inicial de professores de Ciências Biológicas, pode trazer para a compreensão da Ciência. Essa compreensão não deverá considerar a Ciência apenas como um corpo organizado de conhecimentos, mas como um processo dinâmico de construção, influenciado por vários fatores, isto é, como uma obra de homens e mulheres que tanto influenciam quanto são influenciados por seu contexto físico e social.

Como **objetivo geral** propõe-se investigar aspectos epistemológicos presentes na história de um fato científico e analisar as contribuições proporcionadas pela discussão desses aspectos no processo de ensino-aprendizagem da Biologia, particularmente da Genética, e na melhoria da formação inicial de professores de Ciências Biológicas.

Decorrentes desse objetivo geral, os objetivos específicos propõem:

i) Realizar uma análise epistemológica da evolução do conhecimento em Biologia Molecular ocorrido no período de 1880 até 1953, enfatizando os grupos de cientistas envolvidos, sua organização e sua dinâmica, desde as evidências preliminares sobre o DNA como material genético até o momento que culminou na proposição do modelo

de dupla-hélice para a estrutura da molécula e sua aceitação pela comunidade científica;

ii) Investigar as concepções de Ciência de estudantes do curso de Ciências Biológicas da URI-Santo Ângelo, por meio de um questionário com questões que envolvem conhecimentos de Genética;

iii) Verificar, por meio de entrevistas semi-estruturadas, que conhecimentos de História da Ciência e que concepções de Ciência possuem estudantes do curso de Ciências Biológicas da URI - Santo Ângelo;

iv) Elaborar propostas de ações que contribuam para o aperfeiçoamento da formação inicial de professores de Ciências Biológicas, abordando aspectos da história da Biologia, considerando a contribuição que o uso da HFC pode trazer para a compreensão adequada da natureza da Ciência, qualificando-os, assim, para atender aos desafios que a educação científica apresenta na contemporaneidade.

A educação científica e tecnológica é um fenômeno situado no interior de um contexto social, por sua vez inserido em uma realidade histórica, que sofre toda uma série de determinações. Nesse contexto, esta pesquisa tem a finalidade de captar essa realidade dinâmica e complexa e buscar elementos importantes para uma melhor compreensão do papel que a HFC pode desempenhar na formação inicial de professores de Ciências Biológicas.

Para atender aos objetivos propostos, a metodologia de trabalho envolveu uma revisão bibliográfica e um trabalho empírico com estudantes de um curso de Ciências Biológicas.

Para a realização da revisão bibliográfica foram muito úteis os Sumários Correntes¹. Esse material facilitou a localização dos trabalhos de pesquisa publicados nas últimas décadas em periódicos nacionais e internacionais da área de educação científica como, por exemplo, Ciência e Educação, Investigações em

¹ Os Sumários Correntes são coletâneas contendo os sumários de todas as revistas da biblioteca do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST), do Rio de Janeiro, distribuídas periodicamente aos assinantes.

Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, *International Journal of Science Education*, *Journal of Biological Education*, *Science Education*, *Science & Education*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Eureka*, entre outros. Além disso, os anais e as atas de Eventos relacionados à temática da pesquisa foram valiosos, particularmente os seguintes: Encontro Nacional de Pesquisadores em Ensino de Ciências (ENPEC), Encontro Perspectiva do Ensino de Biologia (EPEB), Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Genética (SBG), Encontro da Associação de Filosofia e História da Ciência (AFHIC), entre outros.

No intuito de buscar subsídios para atingir o primeiro objetivo específico, foram consultadas obras de autores que estiveram envolvidos na construção do fato científico e obras de historiadores da Ciência. Como este trabalho se caracteriza pela intermediação entre a História da Ciência e a Educação Científica, não foram consultadas apenas publicações originais, mas também algumas fontes secundárias quando não era possível o acesso às primeiras. A compreensão de Ciência que norteou o trabalho está em sintonia com a visão epistemológica de Ludwik Fleck, conforme argumentos apresentados no Capítulo 2.

A parte empírica da investigação teve a colaboração de 31 estudantes do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Santo Ângelo-RS, conforme caracterização realizada no Capítulo 3.

Antes de iniciar o trabalho, os estudantes, depois de esclarecidos e informados sobre os objetivos da pesquisa e sobre a forma como os dados seriam utilizados, foram consultados sobre sua disposição em participar da mesma. Foi explicado que a aplicação do questionário e a realização das entrevistas ocorreriam no decorrer da disciplina de **Metodologia do Ensino de Ciências Naturais e Biologia**, e foi solicitada a permissão para a gravação, em áudio, das entrevistas. Essa disciplina tem por objetivos: 1) Discutir o papel da Ciência na sociedade e suas relações com o ensino de Ciências; 2) Examinar a relevância epistemológica e social dos conteúdos de Ciências que integram freqüentemente as programações curriculares do Ensino Fundamental e Médio; 3) Perceber que as representações prévias (culturais, do senso comum e do conhecimento escolar) dos alunos e o desenvolvimento cognitivo devem ser considerados na organização das

programações curriculares; 4) Analisar criticamente projetos curriculares e materiais didáticos mais utilizados no ensino de Ciências Naturais e Biologia; 5) Conhecer os principais enfoques teórico-metodológicos empregados no ensino de Ciências Naturais e Biologia; 6) Planejar, executar e avaliar situações de ensino-aprendizagem para o trabalho pedagógico no Ensino Fundamental e Médio.

As gravações das entrevistas, que tiveram duração média de 40 minutos, foram transcritas pela própria pesquisadora, originando informações que foram categorizadas e analisadas. Os entrevistados foram identificados pelo sistema alfanumérico A1, A2,... An, resguardando-se a identidade dos mesmos. Esse sistema de identificação foi utilizado também para os questionários que foram respondidos anonimamente. Como a identificação ocorreu em duas etapas, sempre de forma anônima, o mesmo estudante pode ter recebido denominações diferentes. Assim, por exemplo, o estudante A3 do questionário pode não ser o estudante A3 da entrevista.

Na **primeira fase** da coleta de informações foi utilizada a técnica do questionário com questões abertas e fechadas, envolvendo todo o grupo de estudantes. Segundo Hamilton (1996), o questionário escrito permite uma análise mais precisa do pensamento dos estudantes sobre o assunto, pois possibilita-lhes uma reflexão maior sobre a temática antes de expressarem sua opinião.

O roteiro básico do questionário foi dimensionado em dois tópicos principais:

Primeiro: Relativo a dados pessoais como idade, sexo, atividades extra-acadêmicas, entre outros.

Segundo: Envolveu as concepções dos estudantes sobre a natureza da Ciência, a importância da Genética e suas aplicações tecnológicas, e as implicações éticas das novas biotecnologias.

A **segunda fase** da coleta de informações foi realizada com os estudantes que se dispuseram voluntariamente a participar de uma entrevista semi-estruturada. Foi escolhido esse tipo de entrevista em função da maior flexibilidade na condução do tema, uma vez que *“não há a imposição de uma ordem rígida de questões, o entrevistado discorre sobre o tema proposto com base nas informações que ele*

detém e que no fundo são a verdadeira razão da entrevista” (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p.33-34).

A entrevista semi-estruturada visou aprofundar alguns aspectos relativos ao segundo tópico do questionário e quanto ao conhecimento da história da Biologia Molecular, à compreensão sobre a molécula do DNA, etc.

Para a análise das entrevistas foi utilizada a técnica de análise de conteúdo que Bardin (1977, p. 38) define como “*um conjunto de técnicas de análise das comunicações, que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens*”. Aplica-se, portanto, à análise de textos escritos ou à comunicação oral. Essa técnica permite, também, compreender o significado do conteúdo latente ou manifesto emitido pelos entrevistados e inferir conhecimentos a respeito do ensinar e do seu meio. O procedimento inicial foi a decodificação dos dados contidos nas entrevistas, com descrição detalhada das idéias que Bardin (1977) chama de estágio descritivo ou de análise categorial. Após a categorização dos dados, passou-se à fase interpretativa, com análise das manifestações dos sujeitos pesquisados para perceber que concepção de Ciência e que entendimento da História da Ciência possuíam, e qual a compreensão que têm sobre a importância que representa, para a Biologia, a proposição do modelo de estrutura do DNA.

A tese apresenta a seguinte estrutura:

A apresentação contém a justificativa, o problema, os objetivos e a descrição da metodologia.

No Capítulo 1 “**A Genética na atualidade e seu ensino-aprendizagem**” são abordados aspectos referentes à importância da Genética na sociedade contemporânea e as implicações no processo ensino-aprendizagem. É enfocada a contribuição da HFC no ensino de Ciências Biológicas, particularmente na área da Genética.

No Capítulo 2 “**O modelo de dupla hélice do DNA**” é apresentada a análise epistemológica de relatos sobre a evolução do conhecimento em Biologia Molecular ocorrido no período de 1880 até 1953, enfatizando os grupos de cientistas envolvidos, sua organização e sua dinâmica. Para explicitar aspectos da produção e

evolução do conhecimento desse fato científico, são utilizadas algumas categorias da teoria de conhecimento de Ludwik Fleck.

O Capítulo 3 “**Como investigar o que estudantes entendem sobre a natureza da Ciência**” apresenta a elaboração, a aplicação e a análise dos instrumentos de coleta de dados, cujos resultados são relatados no Capítulo 4 “**Imagens sobre Ciência de estudantes de um curso de Ciências Biológicas**”. Neste capítulo é feita a análise dos dados e de suas implicações para o ensino-aprendizagem de Biologia.

O Capítulo 5 “**Propostas para a formação inicial de professores de Ciências Biológicas**” apresenta as propostas elaboradas para a realização de projetos de ações para serem implementadas no Curso de Ciências Biológicas da URI-Santo Ângelo. Tem como norteadores o referencial teórico e os resultados obtidos com a amostra de estudantes envolvidos na investigação.

Em Considerações Finais é feita uma discussão sobre a importância da problematização das concepções sobre a natureza da Ciência apresentada por estudantes, o papel desempenhado pela HFC na formação inicial dos professores de Ciências Biológicas e a contribuição desses aspectos na melhoria do ensino-aprendizagem de Biologia. Apresenta também as perspectivas de trabalhos futuros.

1. A GENÉTICA NA ATUALIDADE E AS IMPLICAÇÕES SOBRE O SEU ENSINO-APRENDIZAGEM

1.1. A importância da Genética contemporânea

Este capítulo sobre Genética num trabalho sobre a História da Biologia, se justifica pelo destacado papel que essa área da Biologia vem ocupando, desde o século XX. Shamos (1995) acredita que o volume de conhecimento científico é tão grande que é impossível um indivíduo absorver tanta informação. Entre os assuntos veiculados atualmente na mídia, destacam-se aqueles relacionados à Genética contemporânea, também chamada de **nova Genética**. Massarani; Magalhães e Moreira (2003) realizaram uma pesquisa objetivando o mapeamento da Genética nos jornais diários e constataram que suas aplicações são, hoje, um dos principais assuntos na cobertura de Ciência pela mídia.

A comemoração dos cinquenta anos da proposição de uma estrutura para o DNA, em 2003, reforçou esse interesse pela Genética. É possível afirmar, hoje, que praticamente todos os estudantes já ouviram falar no DNA como molécula da hereditariedade, bem como já viram, em algum lugar, o modelo proposto para sua estrutura. Essa é uma realidade bem diferente daquela vivenciada pelos professores de Biologia no início da década de 1980. Foi nessa época que iniciei minhas atividades como professora de Biologia no Ensino Médio, em uma escola da rede particular de ensino, no interior do Rio Grande do Sul. Trabalhando com uma turma de alunos da primeira série do Curso Científico, atual Ensino Médio, deparei-me com

a dificuldade em fazê-los entender a estrutura da molécula de DNA. Embora meus alunos fossem de classe média e tivessem acesso a livros, revistas e programas de televisão, eles nunca haviam visto uma representação da estrutura do DNA. Tendo presente uma visão empirista da construção do conhecimento, acreditava que meus alunos tinham a necessidade de realizar atividades experimentais ou, pelo menos, observação de material ilustrativo para compreender assuntos complexos. Naquela época fazia sucesso o filme de ficção intitulado “A Mosca”². Ao assisti-lo, tive a idéia de selecionar alguns minutos da fita nos quais aparecia a representação da estrutura do DNA, conforme o modelo proposto por Watson e Crick. Então, apresentava nas aulas de Biologia aquela parte do filme, relacionando-a com o conteúdo que estava sendo estudado. A solução encontrada foi muito positiva, pois notava-se uma motivação maior por parte dos alunos, uma vez que praticamente todos já haviam assistido ao filme, sem, no entanto, prestar atenção naquela molécula.

Certamente, hoje, o professor de Biologia terá muito mais facilidade do que eu tive para apresentar o modelo de DNA, pois a popularização desse conhecimento científico é significativa. Muito provavelmente, até crianças do Ensino Fundamental sabem identificar uma representação do DNA. O lugar de destaque que a Genética ocupa nas Ciências Biológicas decorre principalmente de suas aplicações tecnológicas. Para a sociedade, as novas biotecnologias representam uma promessa de eternidade (pelo aumento da longevidade), ao mesmo tempo em que trazem de volta os fantasmas dos movimentos eugênicos e de padrões de beleza e de qualidade de vida, além da possibilidade da medicina e da engenharia genética conduzirem uma seleção eugênica com todas as conseqüências éticas que isso poderá ter. Por outro lado:

A ambição intelectual de conhecer de modo completo a organização e funcionamento dos diferentes organismos foi somada às expectativas de lucros que poderiam ser obtidos se genes relacionados com processos celulares importantes fossem descobertos e pudessem ser comercialmente utilizados (SEPEL, 2003, p.108).

Em vista disso, quando foi anunciado o seqüenciamento do Genoma Humano, em 26 de junho de 2000, bem como quando se chegou à identificação de

² O filme “A Mosca”, cujo título original é “The Fly”, foi lançado nos Estados Unidos pela 20th Century Fox Film Corporation, em 1986. É uma obra de ficção científica que tem como enredo a vida de um cientista que ao testar sua recentemente criada máquina de teletransporte, deixa, acidentalmente, entrar uma mosca na câmara. Quando é mais uma vez materializado, seu corpo passa a sofrer transformações genéticas irreversíveis.

cerca de 30 mil genes constituintes do genoma humano, em fevereiro de 2001, surgiu a pergunta: com esse conhecimento poderá ser compreendido todo o funcionamento do ser humano? Lewontin (2000a, p. 147) lembra que, mesmo que se conhecessem os genes de um organismo em desenvolvimento e a completa seqüência de seus ambientes, não se poderia especificar o organismo, pois “*um organismo em todo momento de sua vida é a consequência única de uma história de desenvolvimento que resulta da interação e da determinação de forças internas e externas*”. As forças externas, que normalmente chamamos de meio, são em parte consequência da atividade do organismo, uma vez que ele produz e consome as condições de sua própria existência. Igualmente, as forças internas não são autônomas, mas agem em resposta às externas. Logo, não somos determinados apenas pelos nossos genes, embora sejamos influenciados por eles, porque há inúmeros fatores que intervêm no processo e que ainda não são suficientemente entendidos.

No entanto, há a possibilidade de o homem tentar modificar, de forma definitiva, o patrimônio hereditário de qualquer ser vivo, inclusive o seu próprio e, por isso, esse conhecimento provoca diferentes comportamentos e reações nas pessoas quanto a vantagens, a desvantagens e a futuras aplicações. Conforme Turney (2003, p. 99), essa atitude da sociedade pode sugerir que “*a Biologia tem um papel especial na representação popular da Ciência, papel este que surgiu com o arquétipo do cientista louco, apresentado pela primeira vez no ano de 1818, em Frankenstein, romance de juventude de Mary Shelley*”. Isso pode ser exemplificado através de duas possibilidades tecnológicas advindas do avanço do conhecimento na área da Genética e que povoam parte do imaginário popular, que são a clonagem com fins reprodutivos e a clonagem terapêutica.

Garantir a reprodução da espécie é um desejo inerente a todo ser vivo. Sabe-se que, a despeito do grande aperfeiçoamento da tecnologia de reprodução assistida, muitos casais não conseguem ter filhos. A possibilidade de poder clonar um dos parceiros parece ser muito melhor aceita do que a de aceitar a doação anônima de gametas, por exemplo. Sobre esse ponto, é importante comentar que a clonagem não garantirá um indivíduo cópia fiel, seja do ponto de vista do genoma, seja do ponto de vista do fenótipo resultante das interações entre genes e dos genes com o meio. A humanidade sempre conviveu com clones naturais (os gêmeos

monozigóticos, por exemplo), sem que isso causasse qualquer problema ou dano. Mas a produção de humanos em série, retratada em filmes como *Os meninos do Brasil*, *Metrópolis*, *Caçador de Andróides*, *Eu e minhas cópias*, entre outros, cria no imaginário humano aversão às tecnologias de DNA em geral. Como afirma Pena (1999, p.121), “*esses cenários de pesadelo podem ser bastante improváveis e até mesmo impossíveis, mas eles têm um impacto importante na percepção e na relação do público com tecnologias revolucionárias, tais como a clonagem humana*”.

A possibilidade da clonagem humana, com o fim de produzir tecidos para autotransplante, vem alimentar um grande sonho, ao criar uma perspectiva de maior longevidade e melhor qualidade de vida para a humanidade. Essa tecnologia envolve a obtenção de células-tronco embrionárias, que têm a capacidade de se diferenciar em qualquer tipo celular e podem ser produzidas a partir de blastocistos humanos (embriões em um estágio muito inicial de desenvolvimento). Desse modo, uma pessoa poderia fornecer suas próprias células, que seriam usadas para substituir os núcleos de seus próprios ovócitos ou ovócitos de doadores, criar embriões clonados e obter células-tronco em cultura que, induzidas a se diferenciarem, forneceriam os tecidos ou órgãos necessários para o autotransplante. Essa tecnologia oferece, como benefício maior, o fato de não apresentar os problemas atuais de rejeição. Esse procedimento, embora ainda apresente algumas dificuldades, uma vez que não se conhecem todos os fatores de crescimento necessários para induzir a diferenciação das células-tronco em cada um dos vários tecidos do corpo humano, tem apresentado significativos progressos.

Já a questão da produção de embriões provoca uma nova discussão ética, que surgiu em função do avanço biotecnológico. No Brasil, por exemplo, o artigo 5º da Lei de Biossegurança, aprovada em 24 de março de 2005, permite, para fins de pesquisa e terapia, a utilização de células-tronco embrionárias obtidas de embriões humanos produzidos por fertilização *in vitro* e não utilizados pelas clínicas de reprodução assistida. Há, no entanto, algumas condições que são impostas como, por exemplo, a exigência de que os embriões sejam inviáveis e congelados a pelo menos 3 anos na data de publicação da Lei. Além disso, é preciso o consentimento dos genitores, a aprovação do projeto de pesquisa pelo comitê de ética responsável por esse tipo de pesquisa, sendo vedada a comercialização desse material biológico.

Bjuresten e Hovatta (2003) afirmam que a sociedade parece aceitar bem a doação desses embriões, pois, numa pesquisa realizada na Suécia, 92% dos inquiridos foi favorável à doação. Poderia ser argumentado que os 8% que optaram pelo descarte o fizeram por falta de uma terceira possibilidade, pois na Suécia não é legalmente admitida a doação de embriões para outros casais inférteis. Diante desses resultados, pode-se inferir também que há interesses econômicos em jogo nessa questão, considerando que a criopreservação tem um custo alto; ou que o descarte apresente problemas éticos-jurídicos incontornáveis, na medida em que “coisifica” e degrada o ser humano em sua fase embrionária. Acredito que, talvez, aqui no Brasil, uma pesquisa semelhante possa ter resultados diferentes, contudo a possível solução para o problema está no aprimoramento das técnicas de fertilização *in vitro*, de forma que não existam embriões humanos criopreservados, rotulados como excedentes. Além disso, acredito que o conhecimento sobre células-tronco embrionárias precisa avançar mais, de modo a permitir que elas sejam obtidas de outras formas.

Isso demonstra como, na sociedade contemporânea, esse progresso das tecnologias genéticas confere um poder muito grande a quem detém esse conhecimento, devido, principalmente, às implicações econômicas e à possibilidade de manipular a vida, algo, até aqui, aceito apenas como dom divino. O sonho de poder criar um ser humano perfeito trouxe embutido o receio de que, em nome da Ciência, se viva outra vez o retorno da eugenia, uma doutrina em voga no período que antecedeu a II Guerra Mundial. Naquela época, a humanidade foi traumatizada com experimentos realizados no intuito de produzir uma raça humana geneticamente perfeita.

Embora se acredite que a humanidade tenha superado a crença de produção de uma raça perfeita, de tempos em tempos essa forma de pensar se manifesta. Por isso, ouve-se hoje falar numa nova eugenia quando se vê a possibilidade de o casal escolher as características da criança que vai gerar com a ajuda da fertilização *in vitro*, da possibilidade de manipular genes e produzir um indivíduo livre dos genes defeituosos que causariam doenças e/ou limitações, entre outros desejos. Porém, como adverte Lewontin (2000b), os indivíduos não são determinados simplesmente pela interação entre genes e desses com o ambiente, mas também por eventos aleatórios que a Ciência não é capaz de controlar.

1.2. Implicações sobre o processo ensino-aprendizagem de Genética

As questões anteriormente expostas afetam a escola, especialmente os professores de Biologia envolvidos na tarefa de abordar com seus alunos conteúdos referentes às novas abordagens em Genética, tais como, tecnologia do DNA recombinante, clonagem, uso de células-tronco e transgênese, além dos aspectos éticos envolvidos. A rapidez de comunicação dos novos conhecimentos da área da Genética e suas tecnologias requer que esse conhecimento seja compartilhado por toda a população e exige, assim, uma mudança de postura principalmente da comunidade científica. No mundo contemporâneo, o trabalho científico metódico e rigoroso não basta. Faz-se necessária uma divulgação científica eficiente dos resultados desse trabalho, pois, de acordo com Wood-Robinson *et al.* (1998), não se pode esquecer os fins democráticos da Ciência, fins esses que parecem ser urgentes frente às exigências que os avanços biotecnológicos têm apresentado neste milênio que está apenas iniciando.

Esse contexto evidencia, por um lado, a necessidade de produção de uma linguagem que possibilite a participação de toda uma comunidade à qual interessa direta ou indiretamente o novo conhecimento, e, por outro, a importância de transformar o conhecimento produzido por uma comunidade científica fechada (esotérica) em uma linguagem pragmática, do mundo da vida. Segundo Candotti (2000, p.2) *“para que a Ciência possa oferecer melhores condições de vida à maioria dos povos e não a uma minoria apenas, a educação é fundamental.”* Portanto, esse papel deverá, preferencialmente, ser exercido pela Escola/Universidade, que será responsável pelo encurtamento da distância entre o laboratório do cientista e a casa do estudante cidadão.

Vivemos hoje num mundo altamente especializado na área biotecnológica, no qual, como afirma Morin (2000, p.16), *“é preciso aprender a navegar em um oceano de incertezas em meio a arquipélagos de certeza”*. Entre as certezas encontram-se os alimentos e animais transgênicos que vieram para ficar e fazem parte de uma biotecnologia poderosa que pode modificar a vida do homem sobre o Planeta. Cabe aos cientistas continuarem a pesquisa básica e aplicada para estabelecerem

protocolos adequados às condições ambientais e à biodiversidade. No entanto, é preciso que se discuta com toda a população as implicações éticas de uma Ciência e de uma biotecnologia cada dia mais voltadas para a dominação econômica das nações. Desse modo, como afirma Marques (1993, p.78), *“através da linguagem se reconstruem as relações sociais, não fundadas em realidades externas mas como verdades que servirão para o momento, podendo ser repensadas no futuro”*. Entendo, assim, que se faz necessária a inclusão desses tópicos atuais no desenvolvimento do currículo de Genética, e que a Escola e a Universidade não poderão omitir-se nas discussões dessas questões.

No Brasil, especialmente no Estado do Rio Grande do Sul, a Genética é trabalhada no Ensino Médio, durante um dos seis semestres que compõem o curso. São abordados tópicos de Genética Mendeliana, Genética de Populações e Evolução. Na região de abrangência das Práticas de Ensino em Biologia, realizada pelos estudantes do curso de Ciências Biológicas, o conteúdo desenvolvido no Ensino Médio é determinado, na grande maioria das escolas, pelo PEIES (Programa Experimental de Ingresso no Ensino Superior) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)³. Para que seus estudantes possam ter um bom desempenho nas provas, realizadas no final de cada um dos três anos do Ensino Médio, os professores são orientados a seguir o conteúdo programático enviado pela coordenação do PEIES. A listagem de conteúdos é organizada em assembleias gerais do Comitê de Engenharia de Programas (CEPRO) do PEIES, sob a coordenação da Comissão Permanente do Vestibular (COPERVES) da UFSM e com o apoio da Secretaria de Educação do Estado do Rio Grande do Sul. Nos anos de 1996 e 1997 participei dessas assembleias, por indicação da 14ª Coordenadoria Regional de Educação, como representante da disciplina de Biologia. Antes de participar das assembleias, os professores de Biologia da região de abrangência da Coordenadoria eram reunidos, ouvidas e anotadas suas considerações e reivindicações, com a finalidade de garantir uma efetiva e democrática participação na organização do Currículo Básico de Biologia do PEIES.

Atualmente existem dois Currículos Básicos em funcionamento nas escolas do Rio Grande do Sul que se credenciaram junto ao PEIES (anexos 6 e 7). Um, o

³ Embora o PEIES seja específico para o ingresso na UFSM, a maioria das escolas da região se credencia para participar do programa e, como consequência, o conteúdo nelas desenvolvido é determinado pelo PEIES.

volume 5, de 1999 (anexo 6), que orienta os conteúdos para os alunos que ingressaram no Ensino Médio até o ano de 2003 e o volume 6, de 2004 (anexo7), para aqueles alunos que ingressaram a partir de 2004. A Genética, conforme o currículo de 1999, era desenvolvida no segundo ano; já o currículo de 2004 prevê o seu estudo no terceiro ano do Ensino Médio.

Os conteúdos de Genética, conforme o Currículo Básico de 1999⁴, são:

1. Ácidos Nucléicos (DNA-RNA): estrutura e função;
2. Fluxo de informação Genética: replicação, transcrição e síntese protéica;
3. Conceito e localização do gene;
4. Herança mendeliana (mono e diíbrido);
 - 4.1 Herança autossômica dominante e recessiva;
 - 4.2 Herança co-dominante.
5. Alelos Múltiplos;
6. Genes Letais;
7. Determinação do sexo e herança ligada ao sexo;
8. Mutações;
9. Interações gênicas
 - 9.1 Herança quantitativa e qualitativa;
 - 9.2 Epistasia.

Para o Currículo Básico, válido a partir de 2004⁵, os conteúdos são:

1. Herança mendeliana: mono e diíbrido;
- 1.1 Herança autossômica dominante/recessiva/codominância;
2. Alelos Múltiplos;
3. Genes letais;
4. Determinação do sexo e herança ligada ao sexo;
5. Mutações gênicas e cromossômicas;
 - 5.1 Fatores mutagênicos;
6. Interações gênicas;
 - 6.1 Herança multifatorial.

⁴ Currículo Básico do PEIES, Santa Maria, v. 5, 1999.

⁵ Currículo Básico do PEIES, Santa Maria, v. 6, 2004.

Ao comparar os dois Currículos Básicos percebe-se que os tópicos relacionados com a Biologia Molecular (pontos 1, 2 e 3 do v. 5) não se encontram referenciados no currículo de 2004 (v.6), o que poderia parecer uma contradição frente à importância que o assunto vem adquirindo na atualidade. No entanto, ao conferir todos os conteúdos sugeridos pelo programa do PEIES pode-se observar que os assuntos relacionados com a estrutura e a função dos Ácidos Nucléicos (DNA-RNA), fluxo de informação genética - replicação, transcrição e síntese proteica e conceito e localização de gene - estão incluídos no tópico Biologia Celular, desenvolvido na mesma série.

No Ensino Fundamental, na grande maioria das escolas do Rio Grande do Sul, não existe um programa de conteúdos de Genética. Nos cursos de formação continuada, os professores manifestam a preocupação em dar a seus alunos algumas noções de Genética já no final da sétima série. Geralmente, essas noções estão vinculadas à questão de herança dos tipos sanguíneos e de transfusões sanguíneas (sistema ABO e fator Rh) e cruzamentos envolvendo herança mendeliana simples. Porém, eles reconhecem que os alunos de séries bem anteriores já demonstram interesse por assuntos que envolvem conhecimentos relativos à Genética em virtude, principalmente, de assuntos veiculados na mídia e que passam a fazer parte do cotidiano dos cidadãos. Podem ser citados como exemplos, os que se referem à clonagem, aos alimentos transgênicos, à terapia gênica, à utilização de células-tronco, entre outros. Na região de abrangência da URI, o tema transgenia passa a ter uma grande importância devido ao cultivo de soja (*Glycine max*). Sabe-se que, embora somente em 2005 o Governo Federal tenha editado uma Medida Provisória liberando o cultivo de sementes transgênicas, já há alguns anos uma significativa parcela dos agricultores plantava soja transgênica – mesmo sem admiti-lo – adquirida, não raras vezes, através do comércio ilícito (contrabando) com a Argentina.

Esse contexto tem suscitado, nos últimos anos, o interesse dos professores por pesquisas em ensino de Genética. Um número considerável de trabalhos, relacionados a esse tema, foram apresentados nos últimos encontros **Perspectivas do Ensino de Biologia** e também na sessão ensino do **Congresso Nacional de Genética**. Nos cursos para professores em exercício, o tema que sempre surge como uma das preocupações no ensino de Biologia relaciona-se com a Genética.

Muitas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de verificar quais conhecimentos e que compreensões têm os jovens sobre a Genética no final dos anos de escolaridade obrigatória, e como eles percebem as questões que têm sido suscitadas pela aplicação das novas tecnologias genéticas em diversos contextos (BANET; AYUSO, 1995; BUGALLO RODRIGUEZ, 1995; WOOD-ROBINSON *et al.*, 1998; LEWIS; LEACH; WOOD-ROBINSON, 2000; LEWIS; WOOD-ROBINSON, 2000). Os resultados dessas pesquisas são preocupantes, pois revelam que nem mesmo os conceitos básicos de Genética, como a relação gene/cromossomo e a finalidade dos processos de mitose e de meiose, são compreendidos por estes estudantes. Giordan e Vecchi (1996) ressaltam que, embora as questões referentes ao DNA tenham sido rapidamente incorporadas ao currículo do Ensino Médio, os estudantes permanecem confusos em relação aos conceitos envolvidos. Baseados em resultados de estudos, os autores comentam que, apesar de praticamente todos os alunos terem algo a dizer sobre o tema, a maioria deles usa a terminologia científica confundindo o sentido dos diferentes termos, configurando um pseudo-saber. Nesse sentido, Longden (1982) e Thomas (2000) também concordam que muitos problemas de aprendizagem dos estudantes em Genética são oriundos da compreensão inadequada da terminologia.

Da mesma forma, as pesquisas que buscam identificar as dificuldades encontradas pelos professores, tanto no início de seu trabalho docente, durante a formação inicial, quanto no decorrer de sua carreira docente, apontam como problemáticas as questões relacionadas com o ensino da Genética e suas tecnologias (JUSTINA; FERRARI; ROSA, 2000; SCHEID, 2001). Se os estudantes sabem pouco sobre os conceitos básicos da Genética, é ilusório esperar um razoável nível de compreensão das tecnologias genéticas. E, se cabe ao professor proporcionar aos estudantes a informação adequada acerca dos contextos concretos em que essas tecnologias podem ser aplicadas, que implicações esses resultados podem trazer para os currículos escolares e para o ensino?

Essas constatações conduzem a uma reflexão sobre o processo de formação dos professores de Biologia. Nas escolas, o maior problema encontrado no ensino de conteúdos biológicos, especialmente os referentes à Genética, talvez esteja na veiculação da idéia/visão de Ciência como verdade inquestionável que não pode ser posta em dúvida. Na Universidade, isso certamente não é diferente e aí pode estar

uma das razões para as dificuldades detectadas. A concepção positivista de Ciência, ainda muito presente, impõe uma racionalidade técnica que faz com que, muitas vezes, os professores se sintam os responsáveis pela detenção das verdades definitivas, que deverão transmitir aos estudantes, como algo pronto, acabado e inquestionável.

Na década de 90, Borges (1991) realizou uma pesquisa para investigar as relações entre a natureza do conhecimento científico e a educação em Ciências, focalizando, especialmente, a formação de professores, envolvendo cursos de licenciatura em Ciências, em Química, em Física e em Biologia no estado do Rio Grande do Sul. Corroborando trabalhos anteriores, constatou que, entre os formandos, predominava a concepção indutivista-empirista e propôs alternativas para debater questões relacionadas a essa concepção e à educação em Ciências no curso de licenciatura e entre professores em serviço.

A consequência dessa forma de conceber a Ciência traz significativas implicações para o ensino-aprendizagem das disciplinas da área biológica, pois:

A “nova Biologia” surgida a partir da década de cinquenta é uma ciência cujo objeto de estudo possui uma grande sutileza estrutural e funcional. Seu objeto é obtido por uma cascata de renúncias a traços que eram considerados característicos ao ser vivo: a renúncia à sexualidade pela reprodução e à integridade do indivíduo celular pelo exercício das suas funções de degradação enzimática. Além disso, o estudo da vida passou a ser desenvolvido de modo cada vez mais próximo da não-vida e do estado máximo de privação de seus atributos tradicionais. Este direcionamento conduziu à transformação da escala do objeto de estudo e à modificação da forma de “fazer as perguntas” nas Ciências Biológicas (WORTMANN, 1994, p.77-78).

Nas Ciências Biológicas, a Genética é uma área que tem, cada vez mais, modificado a escala do seu objeto de estudo (WORTMANN, 1994), sendo necessário utilizar preparações laboratoriais para tentar compreender, nos organismos, aspectos que anteriormente eram buscados na natureza, tal como essa se apresentava. A partir disso, o conhecimento da vida passou a depender do conhecimento de outros recursos, como os aparelhos de detecção com alto poder de resolução, o uso de modelos, entre outros, permitindo que se afirme, a exemplo de Wortmann (1994, p. 78), que “já não há *Biologia sem calculadora e maquinaria*”. A isso podemos acrescentar que, hoje, há uma predominância de estudos no nível gênico em praticamente todas as áreas de pesquisa em Biologia, a ponto de se dizer

que, se no século XIX biólogos viajavam pelo mundo coletando organismos, hoje viajam coletando genes.

Essas modificações trazem implicações sobre o processo ensino-aprendizagem desses conteúdos, pois a maioria dos profissionais que atualmente está à frente no processo de formação de novos professores, bem como aqueles que atuam nas escolas de educação básica, tiveram um modelo de formação com ênfase na Ciência experimental e participaram de iniciativas como o Programa de Treinamento para Professores de Ciências do Estado do Rio Grande do Sul (PROCIRS), que centrava suas atividades nas técnicas de redescoberta. É importante salientar que o programa PROCIRS foi um reflexo das discussões mundiais da época, quando muitos projetos eram decorrentes do *Biological Science Curriculum Study* (BSCS, 1973), elaborado nos Estados Unidos e que tinha uma proposta baseada na investigação. Embora esses programas tenham trazido significativas contribuições para a formação continuada de professores nas décadas de 80 e 90, houve alguns problemas na forma como os professores compreenderam essas técnicas. Na maioria das vezes, elas parecem ter sido entendidas como se a aula prática (experimental), por si só, pudesse produzir mudanças radicais na aprendizagem, permitindo a apropriação de conhecimento, sem considerar o papel, também importante, desempenhado pela abstração no processo.

Essa importância dada à experimentação, que vem desde a década de 70, trazia em seu bojo a idéia de que a experimentação estaria na origem da elaboração do conhecimento científico (OLIVEIRA, 2000; KRASILCHIK, 2004). Concordando, também acredito que:

Todavia, é tanto possível dar péssimas aulas utilizando laboratórios e equipamentos sofisticados, quanto dar boas aulas, tendo como recursos a palavra, o quadro-negro e o giz. A questão central não é, portanto, metodológica, mas envolve muitos fatores, entre os quais o enfoque desenvolvido em sala-de-aula e a própria visão de ciência de quem ensina (OLIVEIRA, 2000, p. 120).

Logo, conclui-se que é importante a concepção de cada professor quanto à natureza do conhecimento científico, incluindo o papel que atribui às aulas experimentais e à abstração na apropriação do conhecimento pelo aluno. Mas, isso precisa ser aprofundado, e o espaço adequado para que ocorra a reflexão sobre o

tema poderá ser conquistado através da reformulação dos currículos dos cursos de formação inicial, ou seja, os cursos de licenciaturas nas Universidades, para que se criem espaços e tempos destinados a isso.

1.3. A contribuição da História e da Filosofia da Ciência no ensino de Genética e de Biologia

Diante do panorama desenhado na sessão anterior do ensino de Ciências e Genética no contexto de Biologia, busca-se uma alternativa que atenda às exigências surgidas em função da complexidade do objeto de estudo nessa área. As discussões sobre o papel da História e da Filosofia da Ciência no ensino de Ciências têm originado um número significativo de artigos em publicações especializadas em ensino de Ciências, bem como em congressos e em encontros afins. De acordo com Solbes e Traver (1996), essas investigações tiveram início na Universidade de Harvard, destacando-se a publicação do “*The Project Physics Course (1970)*”, destinado a alunos de Ciências na faixa etária de 16-18 anos e que contempla essa abordagem. Periódicos como *Enseñanza de las Ciencias*, *Internacional Journal of Science Education*, *Science & Education*, entre outros, têm publicado um considerável número de trabalhos sobre o uso da História e Filosofia da Ciência no ensino, particularmente da Física e da Química. Trabalhos em Biologia, contemplando esse tema de investigação não eram publicados com a mesma freqüência, mas observa-se um crescimento importante nos últimos anos.

A inclusão da História da Ciência, entendida, de forma mais ampla, como a história da construção do conhecimento, pode facilitar uma educação científica adequada ao priorizar o aspecto dinâmico do saber científico, conscientizando os estudantes de que a Ciência é um processo interminável de produção de conhecimento. Conforme Bachelard (1996), fazer uso da História da Ciência é iluminar o passado pela luz do presente, pois só assim é possível ressaltar, com clareza, as tramas e os obstáculos que foram sendo superados até se chegar à Ciência da atualidade. Incluir a História da Ciência no ensino de Biologia não é apenas registrar os fatos ocorridos, ou fazer crônica dos conhecimentos científicos,

cuja pretensão se restrinja a descrever nomes, datas e resultados. É, sim, fazer uma história essencialmente crítica, utilizando-se de juízos de valor na reconstrução da linha de desenvolvimento do saber científico.

No entanto, a forma como a História da Ciência tem sido veiculada nas Escolas e Universidades parece não atender ao acima exposto. Bastos (1998) alerta que o exame crítico da História da Ciência que tem sido veiculada no Ensino Superior, Fundamental e Médio demonstra que existem muitos problemas, tais como: ignorar as relações entre o processo de produção de conhecimento na Ciência e o contexto social, político, econômico e cultural; dar a entender que os conhecimentos científicos acontecem de forma linear, pelas descobertas fabulosas realizadas por cientistas geniais; dar ênfase aos conhecimentos científicos atuais como sendo verdades imutáveis; glorificar o presente e seus paradigmas, menosprezando a importância das correntes científicas divergentes das atuais, a riqueza dos debates ocorridos no passado e as discontinuidades entre passado e presente. Igualmente, Delizoicov, Nadir C. (2002) verificou que os livros didáticos utilizados no Ensino Fundamental e Ensino Médio, bem como os manuais que orientam o Ensino Superior, não apresentam dados históricos.

Por outro lado, Solbes e Traver (2001) não crêem que a ausência da História da Ciência na formação inicial seja a razão preponderante de distorção na compreensão da Ciência. Eles apontam outras razões, como as finalidades do ensino universitário, seus conteúdos, os métodos de ensino e avaliação, como sendo muito significativas. Assim, quando o licenciando se torna professor, deixa de abordar muitas questões, mesmo que sejam urgentes para o futuro da humanidade, dando prioridade aos conteúdos conceituais aprendidos durante sua formação. Atribuem também a isso o fato de terem pouco êxito, entre os professores, os livros e projetos que usam a História da Ciência.

Nesse sentido, é preciso lembrar que aqui no Brasil ainda são poucos os livros e projetos que tratam da inserção histórico-epistemológica, particularmente na área de conhecimento da biologia. Também são restritos os trabalhos de intervenção realizados, tanto no ensino básico quanto nos cursos de formação de professores, com a finalidade de realizar uma avaliação no sentido de buscar soluções para os problemas detectados. Reside aí um campo de pesquisa em educação com muitos

desafios para serem assumidos por muitos de nós, professores de Biologia do século XXI.

Existem muitas posições favoráveis à inserção da História e da Filosofia na formação de professores de Ciências. Hernandez-González e Prieto Pérez (2000) afirmam que, na formação inicial, tanto na licenciatura quanto no bacharelado das áreas científicas, a História da Ciência, além de contribuir para a formação geral do indivíduo, propiciando maturidade intelectual e humana, tem um caráter importante como disciplina introdutória para qualquer estudo científico posterior, pela forma global e interdisciplinar como é tratado o desenvolvimento da Ciência. Outros, como Cachapuz e Paixão (2002), acreditam que se deva trabalhar esse tema também na formação continuada, de modo a dar sustentação à educação de professores. Sugerem que se inicie com a seleção de um tema com relevância epistemológica e se trabalhe, inicialmente, apenas com os professores mais interessados, pois, embora se reconheça a importância do tema para a formação, a adesão dos professores ainda é fraca.

Bastos (1998) cita o uso da História da Ciência como um dos possíveis caminhos que têm sido enfatizados para a melhoria do ensino de Ciências. Esse uso poderá se dar em duas circunstâncias básicas: a) como conteúdo de ensino em si mesmo; b) como fonte de inspiração para a definição de conteúdos e para a proposição de estratégias de ensino.

Outro autor, Matthews (1995), argumenta que é preciso ensinar a História e a Filosofia da Ciência para que os estudantes: i) possam estabelecer parâmetros entre o que existe atualmente e o passado; ii) sejam capazes de caracterizar o processo de produção do conhecimento como uma dinâmica de busca da realidade; iii) conheçam os aspectos e os fatores que contribuíram para o surgimento e o desenvolvimento dos temas tratados nos manuais.

Para que a educação científica proporcione aos estudantes as possibilidades apontadas no parágrafo anterior, Matthews (1994) comenta que a inclusão da História e Filosofia da Ciência no ensino pode ocorrer de dois modos. Um desses consiste na inclusão da história com abordagem ilustrativa (***add-on approach***) que cita os cientistas, seus experimentos, conclusões e alguns fatos para explicar o

assunto, constituindo-se numa abordagem cronológica que comumente aparece no início dos capítulos dos manuais didáticos para chamar a atenção do assunto que será abordado. O outro é o da história com abordagem integrada (*integrated approach*), compreendida e interpretada a partir de pressupostos filosóficos, para permitir a aproximação de conteúdos geralmente dispersos. Assim, o ensino de uma teoria é conduzido de modo a incluir não apenas as suas leis, mas da mesma forma a história do desenvolvimento de suas leis e as dificuldades de sua implementação. Essa contextualização torna o ensino mais significativo para o estudante e contribui para uma concepção adequada da natureza da Ciência. Sobre esses dois modos, Santos e Silva (2005, p. 790), embora não considerem a primeira como incorreta, posicionam-se favoráveis à segunda por acreditarem que ela *“contribui (e muito) para uma reaproximação de conteúdos que se encontram espalhados. De certa forma, consolida e fornece argumentos necessários para a apreensão de um determinado conhecimento”*.

Delizoicov, Nadir C. (2002) conclui que *“a História e a Filosofia da Ciência oportuniza ao professor não só a redimensionar a abordagem de conteúdos em sala de aula, como também a melhorar a sua própria compreensão da dinâmica da disseminação e da produção de conhecimentos científicos”* (p. 207). Esta autora afirma que a obra de Ludwik Fleck *“ênfatiza que a Ciência moderna não pode ser entendida sem que se recorra ao estudo de seu desenvolvimento, uma vez que ela é produto de saberes remotos que foram se transformando e se desenvolvendo ao longo do tempo”* (p.37).

No capítulo 2 do presente trabalho, utilizo algumas categorias da teoria do conhecimento de Ludwik Fleck para explicitar aspectos da produção e evolução do conhecimento científico sobre a estrutura do DNA e para discutir suas implicações no ensino de Biologia.

1.4. Repercussões sobre a formação de professores de Ciências Biológicas

A formação de professores vem se configurando como um campo de estudo imprescindível para o desenvolvimento e melhoria dos sistemas educativos. Dados e

análises de pesquisa, evidenciando um ensino deficiente de Ciências, têm sido pauta de discussão em congressos, simpósios e publicações da área. Bizzo (2003) citou uma pesquisa realizada pela União Européia, reunindo trinta e dois países, em que o Brasil ficou com a pontuação bem inferior à média dos outros países. Mesmo o resultado das escolas particulares, nas quais, freqüentemente, os alunos apresentam melhor desempenho, ficou abaixo das piores posições dos países desenvolvidos. Uma das causas pode ser atribuída à constatação de Bizzo (2003 p.8) de que *“a formação de professores para o ensino de ciências é deficiente, mesmo quando se trata de licenciados formados em cursos de graduação plena, em centros de excelência como os existentes nas Universidades públicas”*.

O presidente da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), Ennio Candotti (2003), em entrevista concedida à revista *Isto É*, justificou seu objetivo de cobrar maior atenção de governantes e da sociedade para a área científica. Perguntado sobre como se poderia falar em investir em pólos científicos e em universidades num País como o nosso, que tem grande deficiência em ensino de base, ele respondeu que é possível fazer as duas coisas ao mesmo tempo. Segundo ele, melhorar o Ensino Fundamental e o Ensino Médio tem a ver com a formação de professores, pois existem regiões onde muitos dos professores que ensinam Ciências nas salas de aula não são sequer formados em Ciências.

Particularmente, tenho observado, em minha atuação profissional como responsável, em parte, pela formação inicial de professores de Biologia, que, durante as Práticas de Ensino e o Estágio Supervisionado em Biologia, os estudantes têm encontrado sérias dificuldades em ensinar conteúdos que se acreditava apreendidos. Entre eles destacam-se tópicos do conteúdo de Biologia do Ensino Médio, especialmente os que se referem à Genética. Para Bachelard (1996), está no ato de ensinar a melhor maneira de aprender, de avaliar a solidez de nossas convicções. Tenho constatado isso ao longo do meu trabalho, desde que ingressei no programa de Mestrado em 1999.

O panorama do ensino de Ciências no Brasil indica que a Universidade, como agência formadora de professores, tem um grande desafio pela frente. Afirmo isso, respaldada pelos dados encontrados em minha pesquisa durante o Mestrado que podem dar uma indicação do quanto os alunos confiam nessa Instituição. Apesar de

estarmos num mundo onde o acesso à informação parece ser mais fácil e rápido, e os instrumentos para tal encontrem-se disponíveis em praticamente todos os locais, os professores são a grande fonte de pesquisa e informação para seus alunos, conforme demonstrado na Tabela I.

Tabela I: Fontes de informação sobre assuntos relacionados à Genética utilizadas pelos graduandos do curso de Ciências Biológicas da URI-Santo Ângelo, 1º/2000.

Fonte de Informação	Escola/Universidade	Revistas	Palestras	Televisão	Jornais	Livros
% de alunos	88,23	41,17	29,41	17,64	17,64	11,76

Fonte: Scheid (2001)

Assim, o fato de 88,23% dos graduandos considerarem a Universidade como uma de suas principais fontes de informação é um indicativo da grande responsabilidade atribuída às instituições educativas na disseminação do conhecimento. Não é só na Universidade que está a solução dos problemas da educação vivenciados na escola e no País, mas ela pode ajudar a encontrar caminhos. A Universidade não pode ser apenas o lugar por excelência onde se produz o conhecimento científico, mas deve ser o centro mediador desse conhecimento, transformado em saber escolar que ajudará todos os cidadãos a viverem num mundo mais justo. O conhecimento não pode ser utilizado apenas pelas classes que detêm o poder e/ou a riqueza. Para tanto, a universidade deve preocupar-se com a qualidade acadêmica sem esquecer-se da sua tarefa social de contribuir para que o conhecimento científico seja disponibilizado numa linguagem cotidiana, compreensível a todos os indivíduos, independentemente de sua condição social.

Tudo isso repercute sobre o processo de formação de professores. Sabemos que a complexidade do trabalho docente é tal que ele precisa ser orientado, conforme afirmam Carvalho e Gil-Pérez (1995, p. 18), “*como um trabalho coletivo de inovação, pesquisa e formação permanente*”. Várias são as condições básicas

necessárias para que o professor possa satisfatoriamente dar conta dos problemas detectados. Inicialmente, o professor precisa dominar o conteúdo da disciplina que vai ministrar, pois *“ensinar exige um conhecimento do conteúdo a ser transmitido, visto que, evidentemente, não se pode ensinar algo cujo conteúdo não se domina”* (GAUTHIER *et al.*, 1998, p. 29). Contudo, somente conhecer o conteúdo não é suficiente: é importante que o professor conheça os aspectos metodológicos, tenha noções sobre a História da Ciência, considere, em suas aulas, as interações entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade (CTS) e os desenvolvimentos científicos recentes (SOLBES; TRAVER, 1996). Além disso, o professor deve ser muito mais que um mero executor de currículos e programas e, por isso, deve saber inserir, no desenvolvimento de sua aula, assuntos polêmicos como, por exemplo, aqueles que envolvem os aspectos éticos oriundos das aplicações biotecnológicas dos conhecimentos recentes em Biologia Molecular, entre outros.

Essa discussão ética não pode ser postergada, tampouco passada adiante para outro professor ou disciplina, considerando que, nos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1998, p. 53-54), a ética é um dos temas transversais, entendida como: *“... um eterno pensar, refletir, construir. E, na escola, sua presença deve contribuir para que os alunos possam tomar parte nessa construção, serem livres e autônomos para pensar e julgar, para problematizar constantemente o viver pessoal e coletivo fazendo o exercício da cidadania”*. Logo, é uma tarefa que cabe a todos, inclusive aos professores de Ciências, embora, como nos lembra Levinson (2001, p. 70), *“é muito difícil para os professores de ciências tratarem dos aspectos ligados à Ciência contemporânea: poucos professores, quaisquer que sejam suas especializações, podem trabalhar nessa área com confiança e experiência”*. Isso, segundo o autor, não se deve a qualquer inadequação por parte dos professores, mas à complexidade das questões. Sua sugestão é que, além dos professores de Ciências compartilhem da concepção de Ciência como conhecimento dinâmico, de natureza provisória - reconhecendo seu poder e limitação - eles trabalhem em colaboração com os professores da área de Ciências Humanas, mais acostumados ao debate sobre questões contemporâneas.

Outra condição básica é que os professores tenham uma concepção de Ciência como construção histórica, influenciada pela sociedade e influenciadora desta mesma sociedade. Nos cursos de formação de professores da área de

Ciências, existe ainda muito presente a idéia/visão de Ciência como a verdade, isto é, um conhecimento que não pode ser questionado. Isso é fruto da concepção positivista e estática de Ciência, impedindo que se veja o dinamismo da sua construção, propiciando um modo de ensinar muito dogmático, o que pode ter conseqüências sobre o modo de ensinar/aprender Ciências.

Segundo Chalmers (1993), a concepção popular de conhecimento científico é de algo provado e adquirido através de um método que inicia pela observação, passando pela experimentação, com controle rigoroso e conclusões objetivas. É um conhecimento empírico que se baseia nos sentidos (ver, ouvir, tocar, etc...), não tendo espaço para suposições pessoais especulativas. Essa concepção sobre o que é conhecimento científico vem desde a Revolução Científica, ocorrida no século XVII, com as teorias de Galileu e Newton. Francis Bacon (1561 – 1626), que é considerado o Pai da Ciência Moderna, foi quem mais reforçou a idéia do empirismo científico, através do pensamento reflexivo, indutivista. Segundo Mayr (1998, p. 45), *“O indutivismo teve grande reputação no século XVIII e começo do século XIX, mas hoje está claro que uma aproximação puramente indutiva é simplesmente estéril”*.

A conseqüência dessa forma de conceber a Ciência traz significativas implicações para o ensino-aprendizagem das disciplinas dessa área. Como diz Maldaner:

Os professores também são produto da sociedade e do meio e se não forem confrontados com essas questões da produção científica, nos seus cursos de formação específica, tenderão a repetir e a reforçar as mesmas crenças e dogmas sobre a ciência. Essa é a forma mais sutil de deixar tudo como está, aceitando que a Ciência e a sua aplicação tecnológica é fruto, apenas, de abnegados cientistas que `descobrem` verdades provadas que já estão `escritas` na natureza (MALDANER, 2000, p. 59).

Na forma de conceber a Ciência acima explicitada, talvez possa ser encontrada uma explicação para a deficiência que o ensino de Ciências vem apresentando, o que implica numa reflexão sobre o processo de formação dos professores dessa área. É preciso ter muito presente a argumentação de Bizzo (1998, p. 14), de que *“não se admite mais que o ensino de ciências deva limitar-se a transmitir aos alunos notícias sobre **produtos** da Ciência. A Ciência é muito mais uma **postura**, uma **forma de planejar e coordenar pensamento e ação** diante do*

desconhecido” (grifos do autor), se pretendemos melhorar a formação inicial dos professores de Ciências Biológicas.

Propostas de discussão sobre a Ciência para melhoria da formação inicial dos professores se justificam, considerando-se que, de acordo com Lederman (1999), as compreensões que os professores têm sobre a natureza da Ciência influenciam a sua prática em sala de aula, existindo fatores que facilitam e outros que impedem essa influência. Segundo o autor, os resultados de sua investigação indicaram que os professores exibem visões de natureza da Ciência consistentes com aquelas identificadas nas várias reformas educacionais, corroborando, de alguma forma, o que eles aprenderam e mantiveram das visões sobre Ciência expostas em aulas ou oficinas coordenadas pelo pesquisador em anos anteriores. Os professores com mais anos de experiência docente demonstram práticas de sala de aula coerentes com sua concepção de Ciência, priorizando as atividades orientadas pela investigação. No entanto, os dados indicaram que a grande maioria dos seus alunos não exibiu uma compreensão da natureza da Ciência consistente com o conhecimento atual. Para que seja alcançado o objetivo de verificar uma relação entre a concepção de natureza da Ciência apresentada pelo professor em concordância com a que seus alunos apresentam, o professor deverá trabalhar tópicos sobre o assunto, além de manter, em atividades de sala de aula, uma postura coerente com a visão que possui.

A Universidade deve proporcionar dinamicidade e qualificação ao processo de formação de professores. Para que isso se efetive, não pode esquecer que, durante a formação inicial, também é importante discutir o conhecimento proporcionado pelo avanço da biotecnologia, indo além dos conceitos básicos para entender as novas tecnologias, para discutir os aspectos éticos, morais, sociais, econômicos e ambientais a eles relacionados. Somente assim poderá contribuir para a importante tarefa de dar uma educação científica e tecnológica aos cidadãos desse novo milênio, considerando que:

Em uma sociedade global em que a ciência e a tecnologia desempenham um papel cada vez mais importante, se se quer evitar a deficiência democrática, que supõe que a informação e as decisões sobre a ciência estejam cada vez em menos mãos, é necessária essa formação científica que permita aos cidadãos opinar, participar, votar, etc. sobre esses temas (SOLBES e TRAYER, 2001, p.159).

No mundo contemporâneo, novos espaços de ensino-aprendizagem se definem e o professor precisa possuir uma cultura genérica, ampla, e uma visão sistêmica da Biologia. O papel da Universidade, enquanto instituição formadora, não termina com a entrega dos diplomas aos alunos. É preciso que os licenciandos sejam preparados para ingressar numa escola num tempo em que o aceleração das transformações sociais (globalização e neoliberalismo) e tecnológicas (informatização e comunicação) e os saberes que essas transformações demandam estão provocando crises para as profissões, entre as quais está incluso o magistério. Hoje, o repertório de saberes está permanentemente mudando, e os problemas tornam-se cada vez mais complexos, a ponto de ninguém ser capaz de deter um conhecimento amplo e geral de um campo profissional. A Genética é uma área que ilustra bem essa situação. Por isso, como afirmam Geraldi *et al.* (2000), é preciso substituir o olhar geometrizado, fruto da Ciência positivista, por um olhar informado, mas não armado, que permita ver além daquela teoria que se está vendo. Para que isso ocorra, é indispensável (re)pensar uma adequada política de formação de professores.

Diante das considerações expostas, sinto a importância e a responsabilidade de estar vivenciando a oportunidade ímpar de lançar um novo olhar sobre a formação inicial de professores de Ciências Biológicas e assumo o desafio de contribuir para a melhoria do ensino de Ciências em nosso País. Essa tarefa torna-se cada vez mais urgente e prioritária quando se considera a importância que o conhecimento na área da Biologia, especialmente, da Genética, vem ocupando no limiar deste novo milênio. Através de meu trabalho, espero colaborar com esses futuros professores na importante tarefa de promover a educação científica de seus estudantes.

2. O MODELO DE DUPLA HÉLICE DO DNA

2.1. A importância do modelo

A Genética estuda os mecanismos que garantem a herdabilidade biológica, isto é, a manutenção das características de cada espécie de seres vivos ao longo das gerações, bem como as causas da variabilidade tanto entre as espécies como entre os descendentes de uma mesma espécie. Ao estudar o gene, caracterizando-o quanto à estrutura, ao funcionamento e à transmissão, a Genética busca entender esses mecanismos. O gene já foi definido como sendo um trecho funcional de uma molécula helicoidal chamada ácido desoxirribonucleico, ou DNA⁶, que é passado de uma geração para a seguinte e determina as características exclusivas de cada espécie (GRIFFITHS *et al.*, 1998). Atualmente, esse conceito é questionado:

As evidências acumuladas nas últimas décadas nos obrigam a pensar no gene como (pelo menos) dois tipos muito diferentes de entidades: um, uma unidade estrutural – mantida pela maquinaria da célula, de tal forma que possa ser fidedignamente transmitida de geração a geração; o outro, uma unidade funcional, que emerge somente da interação dinâmica entre um grande número de participantes, dos quais somente um é o gene estrutural do qual seqüências originais de proteína são derivadas (KELLER, 2002, p. 84).

Todas as vezes em que há uma replicação celular, tanto pelo processo de mitose, para a reprodução de células somáticas, quanto na meiose, para a produção de gametas, temos presente a expressão ou não dos genes, pois a sua função

⁶ Embora a sigla correta em português para ácido desoxirribonucleico seja ADN, o termo DNA consolidou-se não só na mídia como na literatura científica e escolar aqui no Brasil.

depende não apenas da sua seqüência, “... mas também do seu contexto genético, da estrutura do cromossoma (sic) no qual ele está inserido (e que é ela própria sujeita à regulação desenvolvimental), e de seu contexto citoplasmático e nuclear – desenvolvimentalmente específico” (KELLER, 2002, p. 84).

O modelo de estrutura de dupla hélice, atualmente aceito para descrever a molécula de DNA, é atribuído a James Watson e Francis Crick, por sua publicação na revista *Nature* de 25 de abril de 1953. Hoje, passados pouco mais de 50 anos desde essa publicação, muito já se escreveu sobre a história desse fato científico em livros e artigos. Eles incluem desde o “best-seller” de 1968 de James Watson, *A Dupla Hélice*, até livros mais recentes como: *The Path To The Double Helix: the Discovery of DNA*, de Robert Olby (1994); *Crick, Watson and DNA*, de Paul Strathern (2001); *História da Biologia Molecular*, de Rudolf Hausmann (2002); e *Watson e Crick, a História da Descoberta do DNA*, de Ricardo Ferreira (2003); e algumas centenas de artigos em revistas especializadas ou de divulgação científica como, por exemplo, a *Nature*, a *Science*, a *Ciência Hoje*, entre outras.

O modelo de dupla hélice para a estrutura do DNA foi um acontecimento importante para a Genética, pois impulsionou o desenvolvimento da construção do conhecimento em Biologia Molecular. O termo Biologia Molecular foi proposto por Warren Weaver, da Fundação Rockefeller, em um relatório publicado na revista *Science*, em 1938, para descrever como os fenômenos biológicos podem ser compreendidos fundamentalmente pelo conhecimento das estruturas das moléculas e das interações e alterações destas. Gradualmente foi sendo utilizado para designar mais especificamente as pesquisas relacionadas aos genes, mas em 1953 essa correlação entre estrutura e função ficou mais evidente (WEAVER, 1970; NOUVEL, 2001; MENEGHINI, 2003).

A partir desse contexto, e tendo presente que um dos fins básicos da educação científica é garantir que os estudantes adquiram uma compreensão adequada da natureza da Ciência (PETRUCCI; DIBAR URE, 2001), procurei realizar uma análise epistemológica da evolução do conhecimento científico em Biologia ocorrido no período de 1880 até 1953, de forma a apresentar a compreensão de natureza da atividade científica que entendo como adequada. Ela envolve compreender o funcionamento interno e externo da Ciência, como se constrói e se

desenvolve o conhecimento que ela produz, os métodos utilizados para validar esse conhecimento, os valores implícitos ou explícitos nas atividades da comunidade científica, os vínculos com a tecnologia, as relações com a sociedade e com o sistema técnico-científico e as contribuições desse conhecimento para a cultura e o progresso da sociedade (ACEVEDO *et al.*, 2005). Essa visão pressupõe a existência de uma discussão epistemológica que permita compreender a complexidade da construção de fatos científicos, e não apenas a concepção de que os fundamentos da Ciência são comuns e imutáveis.

A concepção de Ciência que norteia a interpretação dos relatos sobre a evolução do conhecimento científico que culminou na proposição do modelo de dupla hélice para a molécula do DNA e sua aceitação pela comunidade científica está em sintonia com a visão epistemológica de Ludwik Fleck.

Cabe ressaltar que este trabalho é um trabalho em educação científica e não em História da Ciência. Grande parte das fontes históricas utilizadas é secundária. Assim, a interpretação epistemológica é baseada nos relatos dos fatos históricos feitos pelos autores consultados. Desse modo, poderão surgir revisões, a partir do dinamismo da História da Ciência que também pode ser revisada, considerando-se que: *“A utilização de novas fontes, bem como um melhor uso das fontes e o surgimento de novas técnicas de pesquisa deve levar a descrições históricas melhores, abordando aspectos que não eram conhecidos anteriormente”* (MARTINS, 2000, p. 46).

A introdução da visão epistemológica acima apresentada no processo ensino-aprendizagem tem o propósito de subsidiar contribuições para a melhoria da formação inicial de professores, considerando as demandas do atual estado do conhecimento científico na área biológica.

2.2. A construção do conhecimento

Ludwik Fleck (1896-1961), além de atuar na área médica como clínico e pesquisador nas áreas bacteriológica, microbiológica e imunológica, manteve uma

produção importante no campo da epistemologia (DA ROS, 2000; DELIZOICOV *et al.* 2002; PFUETZENREITER, 2003) e tem sido usado recentemente como referência em trabalhos brasileiros sobre História e Filosofia da Ciência (DELIZOICOV, NADIR C.; DELIZOICOV, 1999; LEITE; FERRARI; DELIZOICOV, 2001; SCHEID; FERRARI; DELIZOICOV, 2003). Escreveu o livro “*La Génesis y el Desarrollo de um Hecho Científico*” (1935) com o intuito de contrapor-se à concepção de Ciência do Círculo de Viena. Esse livro foi publicado pela primeira vez em alemão, em 1935, um ano após a publicação de Popper – “A Lógica da Investigação Científica”, entretanto as duas obras tiveram destinos diferentes: enquanto a segunda teve, posteriormente, grande repercussão, a de Fleck ficou na obscuridade.

Somente em 1962 aparece a primeira menção à obra de Fleck no livro de Thomas Kuhn – “A Estrutura das Revoluções Científicas” e esse fato foi determinante para que a obra de Fleck viesse a público. Embora Kuhn tenha citado Fleck, Hardwood (1986) enfatiza que uma diferença entre ambos é que o primeiro restringe o conhecimento à comunidade científica, enquanto Fleck comenta a extensão social de seu trabalho. Utilizo, no presente trabalho, a visão epistemológica de Fleck, pois suas idéias representam inovação e, pelo fato de estarem voltadas à Medicina, aplicam-se mais facilmente à Biologia. Em vista disso, as categorias epistemológicas de Fleck podem suscitar importantes reflexões na área da educação científica.

Fazendo considerações sobre as compreensões e práticas próprias da ciência médica, Fleck introduz os conceitos de estilo de pensamento e coletivo de pensamento, afirmando que o ato de conhecer é uma atividade que está ligada aos condicionantes sociais e culturais do sujeito pertencente a um coletivo de pensamento. O fato científico é uma construção em um complexo processo de interações sociais através do tempo, que se constrói como uma rede de relações entrecruzada e construída pelo coletivo de pensamento. Esse coletivo pode ser entendido como uma comunidade de indivíduos que compartilham práticas, concepções, tradições e normas. Cada coletivo de pensamento possui uma maneira singular de ver o objeto do conhecimento e de relacionar-se com ele, determinada pelo estilo de pensamento que possui como se perceberá, a seguir, no relato sobre a construção do fato científico da proposição de uma estrutura para o DNA.

Ao buscar na literatura artigos sobre a história da Biologia Molecular, percebe-se que, embora a publicação da estrutura do DNA tenha ocorrido em 1953, as evidências do DNA como material responsável pela informação genética surgiram muito antes. Em meados dos anos 1880, já se falava no núcleo como sede da hereditariedade e que a cromatina (ou cromossomos) constituía o material genético (DELAGE, 1903; MAYR, 1998). Foram anos de trabalho e, como afirma Almeida (2003, p. 9), “*são múltiplos os atores principais, há vários coadjuvantes com papéis iniciais, e o final resulta do somatório de qualidades, conhecimentos, acasos, experimentos, poder, paixão, para citar apenas alguns fatores*”, que culminaram num evento crucial para a Ciência contemporânea.

Em 1869, quando ainda não havia antibióticos, e as infecções hospitalares eram muito comuns, o médico, fisiologista e químico orgânico suíço Friedrich Miescher (1844-1895), trabalhando com células purulentas, extraiu uma substância, que hoje conhecemos como sendo o DNA, e chamou-a de nucleína. A síntese de seu trabalho com DNA foi publicada em 1871. Ele, contudo, nunca encarou a nucleína como portadora de informação genética, e seu trabalho foi pouco relevante no meio científico da época, que via as proteínas como as únicas moléculas com a complexidade estrutural necessária ao material genético (OLBY, 1994; MAYR, 1998; GOUYON, 2000).

A partir da perspectiva histórico-epistemológica de Fleck e dos relatos de historiadores da Biologia, podemos considerar que o estado do conhecimento da época permitia considerar as proteínas como candidatas mais prováveis ao papel de portadoras do material genético porque se pensava que a estrutura do DNA era simples. Os conhecimentos disponíveis até então indicavam que as proteínas eram mais complexas estruturalmente que o DNA. Foi esse estado do conhecimento na época que contribuiu para que os cientistas tivessem um estilo de pensamento, que determinou a forma de olhar para o objeto do conhecimento (ver formativo), isto é, direcionou à uma determinada abordagem na busca de soluções dos problemas. O estado do conhecimento e o estilo de pensamento predominantes naquele momento podem ter sido os responsáveis pela desmotivação dos pesquisadores para buscar entender como o DNA poderia ser a molécula portadora dos genes.

A produção do conhecimento, segundo Fleck (1986a), ocorre num processo dinâmico de instauração, de extensão e de transformação do estilo de pensamento. Muitos fatos científicos encontram-se vinculados a idéias iniciais ainda mal delineadas, chamadas de proto-idéias ou pré-idéias. *“As proto-idéias devem ser vistas como esboços histórico-evolutivos das teorias atuais e seu surgimento tem que se compreender sócio-cogniscitivamente”* (FLECK, 1986a, p.72). O autor deixa claro que nem sempre os fatos científicos emergem dessas proto-idéias, podendo, muitas vezes, não serem encontradas relações históricas entre idéias antigas e modernas.

Também é preciso considerar que, para Fleck (1986a), quando a teoria dominante ou o estilo de pensamento está devidamente instaurado, ocorre um período clássico que constitui a harmonia das ilusões. Nesta fase, só se observam fatos que se encaixam perfeitamente na teoria dominante. A persistência dos sistemas de idéias é uma estrutura determinada por um estilo de pensamento. Conforme o autor, a epistemologia não deve apenas considerar a relação bilateral entre sujeito e objeto para a construção do conhecimento, mas deve considerar o estado de conhecimento como um terceiro componente desta relação, para ligar o conhecimento ao conhecer. Em vista disso, na Biologia Molecular, como afirma Mayr (1998, p.909), *“conquanto muito se tenha aprendido sobre a composição química do DNA, durante as primeiras décadas do século, poucos progressos foram feitos na compreensão da molécula como um todo e da sua atuação biológica”*. A afirmação do autor pode significar que o estilo de pensamento dos pesquisadores daquela época permitiu a interpretação dos fatos de uma maneira dirigida – a harmonia das ilusões – que impediu a percepção de outras formas e de outros fatos.

Os relatos de Mayr (1998) e de Hausmann (2002) indicam que, devido à sua formação, Miescher dedicou-se mais a questões fisiológicas ou puramente químicas em vez de questões genéticas. Conforme Mayr (1998, p. 903), ele declarou, em 1872, que seu desejo era ocupar-se com *“os aspectos fisiológicos da nucleína, sua distribuição, sua associação química, seu aparecimento ou desaparecimento no corpo, sua transformação”*. Isso, de acordo com Fleck (1986a), reflete uma das etapas do desenvolvimento do estilo de pensamento, que é o ver formativo direto e desenvolvido. Os iniciantes em um coletivo são preparados, treinados, doutrinados a olhar o mundo, elaborar problemas e buscar respostas em sintonia com o estilo de

pensamento inserido em um determinado coletivo de pensamento. Como dissertarei a seguir, esse processo determina que, ao olhar para o objeto, o membro de um coletivo apresente um estilo de pensamento que orienta sua prática e guia o que observar, o que olhar e como olhar.

Entre os cientistas que deram sua contribuição para a proposição da estrutura do DNA está Rosalind Elsie Franklin, uma pesquisadora inglesa que se tornou uma cristalógrafa respeitada trabalhando em Paris. McGrayne (1994), em seu livro *Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em Ciências*, enfatiza a participação de Franklin na construção desse fato científico afirmando que, no início da década de 50, ela obteve informações sobre a estrutura do DNA suficientes para explicar a base molecular da hereditariedade.

O livro *Rosalind Franklin, the Dark Lady of DNA*, de Brenda Maddox (2002), é resultado de pesquisa minuciosa em documentos de vários arquivos pessoais e oficiais, além de entrevistas e da correspondência de Franklin com sua família. Almeida (2003) o considera como o estudo definitivo sobre Rosalind Franklin. A leitura dessa obra, somada à de McGrayne (1994), proporciona condições para se verificar como o contexto sócio-histórico-cultural no qual a cientista estava inserida foi determinante para a sua participação – ainda que não premiada – nesse importante fato científico.

Rosalind Elsie Franklin nasceu em Londres, no dia 25 de julho de 1920. Em resenha bibliográfica do estudo de Maddox, publicada na revista *Science*, Fausto-Sterling (2002, p. 1177), define Franklin dizendo que “... *ela era vivaz, defensiva, vigorosa, entusiasta de atividades ao ar livre, reservada, temerosa de intimidades, determinada, impetuosa, apaixonada pela ciência*”. Para Almeida (2003), essas qualidades pessoais caracterizam qualquer indivíduo humano, mas o que Franklin tinha de singular era a sua paixão pela Ciência, que se manifestou muito cedo. Influenciada pelos excelentes cursos de física e química da escola feminina *St. Paul's*, em Londres, onde estudou, aos quinze anos decidiu tornar-se cientista. Sonhando estudar físico-química, foi aprovada na Universidade de Cambridge. Em 1938, Rosalind entrou para a Faculdade Newnham, para mulheres, da Universidade de Cambridge, onde se formou em 1941 (McGRAYNE, 1994).

Almeida (2003) comenta que a paixão precoce de Rosalind pela Ciência, além de ficar evidente em seu histórico escolar, também pode ser percebida em sua correspondência pessoal como, por exemplo, no trecho de uma carta escrita ao pai quando ela tinha apenas vinte anos de idade:

Você sempre declara (...) que eu desenvolvi uma perspectiva absolutamente unilateral, e que olho para tudo e penso em tudo em termos de ciência. É óbvio que **minha forma de pensar e raciocinar é influenciada pelo meu treinamento científico** – e se assim não fosse, meu treinamento científico teria sido um desperdício e um fracasso. Você encara a ciência (ou pelo menos fala dela) como uma espécie de invenção desmoralizante do homem, algo distante da vida real, e que deve ser cuidadosamente conservada e mantida separada da vida cotidiana. Mas a ciência e a vida de todo dia não podem e não devem ser separadas. A ciência, para mim, dá uma explicação parcial da vida. No que a concerne, ela é baseada em fato, conhecimento e experimentação. (...) Concordo que a fé é essencial para o sucesso na vida (sucesso de qualquer tipo), mas não aceito sua definição de fé, a crença na vida após a morte. Em minha opinião, o que é necessário para ter fé é a crença de que fazendo o melhor possível chegaremos mais próximo do sucesso e de que vale a pena buscar o sucesso em nossos objetivos (o melhoramento, presente e futuro, da humanidade). (...) Eu afirmo que a fé neste mundo é perfeitamente possível sem a fé em outro mundo... (MADDOX, 2002, p. 60-61, grifo meu)

Esse trecho da carta de Rosalind está em sintonia com o que Fleck (1986a, p. 145) afirma: “...podemos definir o estilo de pensamento como um perceber dirigido com a correspondente elaboração intelectual e objetiva do percebido”. Franklin reconhece a influência que o processo de formação exerce sobre a maneira de pensar e raciocinar de uma pessoa.

A seguir, na seqüência dos relatos sobre a construção do fato científico da proposição de uma estrutura para o DNA, perceber-se-á como o desenvolvimento da Ciência se dá por meio de estágios que são permeados por estilos específicos de pensamento. Fleck (1986b) afirma que um campo de pensamento cria um estilo peculiar para cada época com a utilização de certa linguagem própria.

Algumas décadas anteriores ao trabalho de Rosalind Franklin, Miescher, inserido num contexto histórico-cultural, mediado por um estilo de pensamento, contribuiu com o impulso inicial para o entendimento da Biologia Molecular.

Pode-se inferir que, se o conhecimento sobre a natureza química do material genético não avançou mais rapidamente após os trabalhos de Miescher, foi porque a comunidade científica partilhava de um estilo de pensamento que a levava a

acreditar que a nucleína, extraída apenas do núcleo das células, era uma substância simples demais para dar conta da arquitetura incrivelmente complexa que o material genético exigia. De acordo com Mayr (1998, p. 907), no final dos anos 1880, “os citologistas já haviam dado todas as contribuições possíveis, permitidas pelos seus métodos”. Para eles, a cromatina – que já sabiam consistir-se basicamente de DNA - satisfazia todas as exigências do material genético. Mas, como não se preocupavam com a natureza química e com o tamanho da substância, eles não perceberam que o papel do DNA, na hereditariedade, jamais poderia ser compreendido se não fosse entendida a sua estrutura. Desse modo, por muitos anos a questão da natureza do DNA passou a ser assunto da Química. Foram muitos os pesquisadores envolvidos nessa tarefa, e foi apenas por volta de 1930 que se obteve o conhecimento de que todas as células dos animais e das plantas possuíam tanto DNA como RNA, mas as idéias ainda eram muito vagas sobre o papel dessas substâncias nas células.

As bases nitrogenadas - citosina, guanina, adenina e timina - haviam sido identificadas, na virada do século, por Albrecht Kossel - 1853-1927- (OLBY, 1994). As primeiras análises foram feitas em DNA de vertebrados, e a idéia que predominava era, segundo a hipótese tetranucleotídica proposta por Phoebus Aaron Levene (1869-1940), que o DNA era uma molécula relativamente pequena, com uma estrutura longitudinal, constituída por um eixo de desoxirribose e fósforo, ao qual as bases nitrogenadas se conectavam (OLBY, 1994; MAYR, 1998). A idéia corrente, naquela época, sugeria que a informação genética deveria ser transportada por quantidades diferentes de cada base. Mas Levene indicou que o DNA sempre continha quantidades iguais das quatro bases, e possuía, portanto, uma estrutura muito simples. Sendo assim: “*Como poderia uma tal molécula assumir importância na hereditariedade e controlar o desenvolvimento, desde o zigoto fertilizado até o organismo plenamente desenvolvido, considerando a imensa complexidade das vias de crescimento?*” (MAYR, 1998, p.909).

Um passo significativo foi dado quando, em 1944, Erwin Schrödinger, um dos pioneiros da mecânica quântica, sugeriu, em seu livro *O que é Vida?*, que os genes seriam “cristais aperiódicos”. Esses cristais aperiódicos seriam formados de arranjos de diferentes elementos isômeros, o que atualmente poderia ser chamado de blocos de construção ou nucleotídeos, em cujas variadas seqüências seriam codificadas as diferentes informações genéticas. Para ele, o comportamento da matéria viva,

embora obedecendo às conhecidas leis da Química e da Física, era ditado por outros fenômenos físicos ainda desconhecidos (SCHRÖDINGER, 1997).

Outras complicações no modelo de Levene surgiriam, depois que o conhecimento sobre a composição química do DNA se ampliou, entre os anos de 1930 e 1940, e formou-se o conceito de macromoléculas polimerizadas. As técnicas laboratoriais necessárias para o estudo de grandes moléculas (centrifugação, filtragem, absorção de luz, entre outras) passaram a ser empregadas, e as moléculas de DNA, para grande surpresa de todos, revelaram-se bem maiores do que se esperava (MAYR, 1998). Paralelamente, surgiram os experimentos com pneumococos, publicados em 1927 por Frederick Griffith (1877-1941). Trabalhando com duas cepas dessas bactérias, uma patogênica e outra não patogênica, ele observou que havia uma substância capaz de transformar os pneumococos não patogênicos em patogênicos. Avery, MacLeod e McCarty, que trabalhavam no Instituto Rockefeller em Nova Iorque, chamaram a substância encontrada por Griffith de **princípio transformador** e, utilizando a mesma técnica básica de Griffith, realizaram experimentos que os levaram a propor que o DNA fosse a molécula responsável pela transformação (AVERY; MAC LEOD; MAC CARTY, 1944; MAYR, 1998; STRATHERN, 2001).

Embora se leia, em alguns livros de Genética, informações como a seguinte: “*A demonstração de que o DNA é o princípio transformante foi a primeira demonstração de que os genes são compostos de DNA*” (GRIFFITHS *et al.*, 1998, p. 294), verificamos, na narrativa de historiadores da Biologia, que a idéia do DNA como material genético só foi aceita pela maioria da comunidade científica bem depois disso.

Além da teoria tetranucleotídica, outro elemento complicador para a não aceitação do DNA como sede do material genético foi a resistência por parte da comunidade científica em considerar as bactérias como sendo geneticamente comparáveis aos outros seres vivos, dando origem à suspeita de que o **princípio transformador** poderia ser algo exclusivo desses seres primitivos. Mesmo assim, a publicação dos resultados de Avery ocasionou uma grande demanda de pesquisas sobre ácidos nucleicos (MAYR, 1998; HAUSMANN, 2002).

Almeida (2003) lembra que foram dois os cientistas que perceberam de imediato a real importância do trabalho de Avery, em 1944: o imunologista Frank Macfarlane Burnet (1899-1985) e o bioquímico Erwin Chargaff (1905-2002). Logo após sua visita ao laboratório de Avery, em 1943, Burnet escreveu uma carta à esposa, na qual teceu um comentário sobre a importância da constatação do amigo. Olby (1994, p.205) cita um trecho dessa carta onde Burnet comenta: Avery “(...) *acaba de fazer uma descoberta extremamente excitante, que é nada mais, nada menos, do que o isolamento de um gene puro na forma de ácido desoxirribonucléico.(..)*”.

A construção da idéia de que o DNA é o material genético, por Avery e seus colaboradores, repercutiu na comunidade científica de tal modo que, somente em 1946, o assunto foi discutido em seis seminários importantes. Porém, muitos não se convenceram logo no início. Sobre os trabalhos de Avery, Silver (2003, p. 437) comenta que “*o verdadeiro significado do DNA foi revelado por Oswald Avery. O próximo passo pertenceu aos químicos... Por toda essa sua dedicação à ciência ele merecia um Prêmio Nobel*”.

Assim como Burnet, Chargaff foi um dos raros cientistas a reconhecer de imediato a importância dos trabalhos de Avery. Ele concluiu com rapidez os trabalhos aos quais vinha se dedicando na Universidade de Colúmbia, em Nova Iorque, para se dedicar integralmente ao estudo do DNA (ALMEIDA, 2003) e comentou, num artigo publicado na revista *Science*, intitulado “Prefácio para uma Gramática da Biologia”, que:

A descoberta de Avery certamente causou uma impressão em alguns poucos, não muitos, mas provavelmente em ninguém ela foi mais profunda do que em mim. (...) Vi diante de mim, em contornos obscuros, o início de uma gramática da biologia (...) Avery nos deu o primeiro texto de uma nova linguagem, ou melhor, ele nos mostrou onde procurar por ele. Eu decidi procurar esse texto. Em conseqüência, resolvi abandonar todos os trabalhos em andamento, ou trazê-los a uma conclusão rápida. Mas essas bagatelas biográficas não podem interessar a ninguém. Para o cientista, a natureza é um espelho que se quebra a cada trinta anos; e quem quer saber dos vidros quebrados dos tempos passados? Eu parti da convicção de que, se diferentes espécies de DNA exibem atividades biológicas diversas, devem existir também diferenças quimicamente demonstráveis entre os DNAs (CHARGAFF, 1971 apud ALMEIDA, 2003, p.3).

Em 1949, após ter medido o conteúdo das bases de DNA extraído de células de quatro espécies diferentes - bezerras, carneiros, fermento e bacilo da tuberculose - concluiu que, em qualquer espécie, a quantidade de adenina (A) é muito semelhante a de timina (T), e, da mesma maneira, a quantidade de guanina (G) é semelhante a de citosina (C), estabelecendo a chamada regra de Chargaff (ALMEIDA, 2003; FERREIRA, 2003). Essa regra refutava a hipótese tetranucleotídica de Levene, segundo a qual todas as bases ocorriam em igual frequência.

A regra de Chargaff foi um passo crucial na busca do entendimento da estrutura do DNA. Para Fleck (1986a), há uma conexão entre o estilo de pensamento de uma época e os conceitos que são considerados pertinentes para a mesma época. Há, portanto, um condicionamento histórico-cultural caracterizado por certa regularidade histórica no desenvolvimento do pensamento em que primeiramente é notada uma época clássica na qual todas as idéias são concordantes entre si. Em seguida, começam a se estabelecer algumas exceções.

Dessa forma, o pensamento é formado a partir de uma rede intrincada de idéias estruturadas sistematicamente. Essas conexões de idéias, ricas em detalhes, garantem a homogeneidade de opiniões. Dentro dessas conexões, Fleck (1986a) considera que há aquelas que possuem uma explicação histórico-cultural e que são denominadas de conexões ativas. Em oposição, aquelas que não apresentam essa interpretação constituem as conexões passivas. Ambas encontram-se mediatizadas pelo estilo de pensamento e não são separáveis, nem lógica, nem historicamente.

A existência dessa estreita relação entre as conexões ativas e passivas pode ser percebida nos comentários feitos por Almeida (2003) e Ferreira (2003) em relação à importância que a regra de Chargaff teve para a proposição do modelo de estrutura do DNA, como se observa nos excertos a seguir:

Hoje podemos avaliar, em retrospecto, que somente um golpe intuitivo muito excepcional, de extrema genialidade, poderia permitir que se cogitasse, na época, da codificação da mensagem genética por meio da utilização de pares de bases complementares. Não havia a mínima evidência que permitisse essa conjectura. Por isso, nem Chargaff, nem qualquer outro pesquisador, até 1953, foi capaz de perceber a complementaridade estrutural oculta na relação entre as concentrações molares das bases. Isso só se tornou claro após a descoberta da dupla hélice do DNA. No dizer de Crick, *“não foi a regra de Chargaff que revelou a*

estrutura do DNA, e sim a estrutura do DNA que revelou a regra de Chargaff". Em suma, para usar sua própria analogia, Chargaff nos ofereceu a chave para a "gramática da biologia", sem perceber que a própria chave era também cifrada (ALMEIDA, 2003, p. 8).

Apesar de Chargaff, em uma visita a Cambridge, ter-se encontrado com Crick e Watson, estes não fizeram referência ao trabalho de Chargaff. Provavelmente os encaixes C-G e T-A, obtidos com seus modelos, foram tão convincentes que os resultados de Chargaff tornaram-se óbvios! (FERREIRA, 2003, p. 66).

Atualmente, o modelo que é aceito para a estrutura do DNA insere-se num estilo de pensamento bastante coeso na comunidade científica, mas o processo de construção de um fato científico não é puro, uma vez que depende da relação do sujeito com o objeto em questão. Segundo Fleck (1986a), o processo se dá na interação do sujeito com o objeto mediado pelo estilo de pensamento e coletivos de pensamento envolvidos.

Como dissertarei a seguir, para a aceitação do modelo de dupla hélice para o DNA como um fato científico pela comunidade científica, houve um entrelaçamento entre a Biologia, a Física e a Química. Os trabalhos históricos, alguns deles de autores que acompanharam pessoalmente o desenvolvimento da Biologia Molecular, revelam a participação de muitos pesquisadores na construção desse fato científico. Revelam também que, embora os eventos tenham sido cruciais para a Biologia, eles envolveram muitos físicos e químicos. Fleck (1986a) nos auxilia a evidenciar isso quando afirma que o fato científico é resultado de trabalho coletivo mediado por um estilo de pensamento inserido num contexto histórico.

2.3. A interdisciplinaridade

A aceitação do modelo de dupla-hélice foi o ponto de partida para tentativas de esclarecer a Genética da transmissão no nível molecular. O círculo de saber esotérico, definido por Fleck (1986a) como formado pelos produtores do conhecimento, começou a trabalhar, tendo, como orientação, essa estrutura da molécula de DNA, conforme o modelo proposto por Watson e Crick. Porém, não se pode esquecer que a proposição do modelo de estrutura da molécula do DNA foi a

conseqüência lógica de várias décadas de investigações encabeçadas por inúmeros cientistas, predecessores e contemporâneos ao fato científico, cujas observações ou teorias foram imprescindíveis como etapas de produção científica. Houve uma circulação intercoletiva de idéias que proporcionou as condições para que isso ocorresse. Da Ros (2000) chama a atenção para a importância que Fleck atribui à relação entre os círculos de saber (esotérico e exotérico). O círculo exotérico é entendido como sendo constituído pelos indivíduos que, de uma ou de outra forma, consomem o conhecimento produzido num círculo esotérico. Em vista disso:

A complexa estrutura da sociedade moderna leva consigo que os coletivos de pensamento se interseccionem e inter-relacionem de formas diversas, tanto temporal quanto espacialmente. (...) Quanto mais especializado, quanto mais restrita em seu conteúdo é uma comunidade de pensamento, mais forte é o vínculo de pensamento entre seus membros (FLECK, 1986a, p. 154).

No entanto, isso não implica na desconsideração da contribuição individual, pois, como afirma Almeida (2003, p. 9), *“muitos contribuem, cada qual com sua singularidade, o que dá ênfase ao mistério da evolução da Ciência”*.

Watson (1968) e Hausmann (2002) comentam que o grande fator que levou os físicos a desenvolverem um interesse em Biologia foi a leitura do livro de Schrödinger, já comentado na seção 2.2. O que encantou muitos biólogos, químicos e físicos que leram o livro foram as especulações de Schrödinger a respeito da natureza química do gene, até então desconhecida.

O fato de vários especialistas de diversas áreas terem trabalhado na elucidação da estrutura do DNA, inspirados pelo livro de Schrödinger, ilustra a importância que tem para a Ciência a circulação de idéias entre diferentes áreas do saber e que podem originar interesses comuns. Fleck (1986a) esclarece que a circulação e a divulgação intra e intercoletiva de idéias podem ser feitas mediante sua publicação na ciência de revista, ciência de manual e ciência popular. A ciência especializada é constituída pela Ciência de revista e pela Ciência de manuais. A Ciência de revista representa a vanguarda e tem muito de fragmentário e provisório, mantendo um vínculo com a Ciência de manual na esperança de ser incorporada pela mesma. O manual não se reduz a uma simples coletânea de vários trabalhos de revista; os trabalhos são selecionados com o objetivo de formar uma combinação

ordenada e para traçar os rumos a serem seguidos pela pesquisa. O saber popular, exotérico, se apóia no saber especializado, esotérico, divulgado por meio de livros de texto que, muitas vezes, simplificam artificialmente os conceitos e omitem detalhes, especialmente os pontos obscuros e discutíveis.

A partir das considerações de Fleck, percebe-se como a divulgação do conhecimento é um fator importante a ser considerado na construção de um fato científico. Na seqüência dos relatos, tento explicitar a participação de alguns pesquisadores que são destacados pelos historiadores da Ciência, como eles adquiriram conhecimentos a partir da circulação inter e intracoletiva, e como foram divulgados os conhecimentos adquiridos e que culminaram na proposição da dupla hélice.

No início da década de 1950, vários cientistas, das mais diversas especialidades - virologistas, físicos, químicos e biólogos moleculares, entre outros - estavam interessados no DNA. Hausmann (2002) cita a importância que tiveram os cursos de verão no *Cold Spring Harbor*, nos Estados Unidos, a partir de 1945, quando se reuniu, pela primeira vez, um pequeno grupo de pesquisadores de fagos, interessado na auto-replicação no nível viral. Esses cursos repetiram-se por mais de duas décadas e, segundo o autor, traduziam para a prática as teorias expressas no livro *What is Life?*, desempenhando um papel essencial no começo da Biologia Molecular.

O principal objeto de estudo do Grupo Fago eram os bacteriófagos, também denominados fagos - vírus que infectam bactérias. Os pesquisadores desse grupo ocupavam-se em entender a questão da origem de mutações, a síntese protéica dirigida pelo fago, o mecanismo de auto-replicação do fago, entre outros aspectos relacionados com a ação dos ácidos nucléicos presentes no interior desses seres vivos.

Para compreender como o DNA poderia ser a molécula responsável pela hereditariedade, era preciso entender sua estrutura. A hipótese tetranucleotídica de Levene já não dava mais conta das questões que surgiam. Três laboratórios, em particular, estavam trabalhando com ênfase no entendimento de como esses três tipos de moléculas (bases nitrogenadas, fosfato e desoxirribose) ligavam-se entre si.

Eram eles: o do *Caltech (California Institute of Technology)*, em Pasadena, onde trabalhava Linus Pauling; o do *King's College*, de Londres, onde o grupo de Maurice Wilkins e seus colaboradores – entre eles destacando-se Rosalind Franklin - realizavam suas pesquisas; e o do *Cavendish*, em Cambridge, onde trabalhavam James Watson e Francis Crick (MAYR, 1998).

Nestes três laboratórios havia pesquisadores que estavam trabalhando com DNA e buscavam a proposição de um modelo para a sua estrutura com o objetivo de entender sua atuação biológica.

Na seqüência, apresentarei alguns aspectos que considero significativos na história de vida de alguns dos cientistas que, segundo os historiadores, tiveram participação mais direta na construção do fato científico que é focado neste trabalho. A ordem de apresentação é aleatória e não representa qualquer grau de importância na sua contribuição para o fato científico.

Linus Pauling estudou no *Oregon State College*, no *Institute of Technology* e nas Universidades de Munique, Copenhagem e Zurique. Em 1919, tornou-se assistente, em tempo integral, em análise quantitativa, no *Oregon State College*. No ano seguinte, tornou-se assistente em química, mecânica e materiais. Em 1922, foi para *Caltech*, onde chefiou a divisão de química e engenharia química nos anos de 1936 a 1958. Percorreu uma longa e produtiva carreira acadêmica. Dentre as suas atividades mais conhecidas, destaca-se a proposição do modelo alfa-helicoidal para a estrutura das proteínas. Com esse trabalho, ganhou, em 1954, o Prêmio Nobel de Química. Segundo Ferreira (2003), ele é considerado o químico mais influente do século XX, por ter difundido, entre as comunidades de químicos e biólogos, a importância da Mecânica Quântica, da qual Schrödinger tinha sido um dos fundadores, em 1926. Juntamente com sua esposa, Ava Helen, esteve muito envolvido com os movimentos em favor dos Direitos Humanos em vários lugares do mundo, o que lhe rendeu o segundo Prêmio Nobel, em 1962 (COUTINHO, 1998; FERREIRA, 2003).

Entre os membros do Laboratório de *Cavendish* estava Francis Harry Compton Crick, que nasceu em Northampton, Inglaterra, em 1916. Formado em Física pelo *University College*, de Londres, ele obteve seu PhD pela Universidade de

Cambridge. Quando a Segunda Guerra eclodiu, em 1939, ele foi convocado – assim como tantos outros jovens treinados em Ciências - para servir no Almirantado Britânico. Foi encarregado de estudar o problema causado pela introdução de minas marítimas magnéticas pelos alemães, isto é, minas imantadas que eram atraídas pelo casco de aço dos navios que passavam pelas imediações. A leitura do livro de Schrödinger, nos intervalos do seu trabalho durante a guerra, em 1944, levou-o a estudar Biologia (COUTINHO, 1998; FERREIRA, 2003).

Crick pertenceu ao *Strangeways Laboratory*, em Cambridge, entre 1947 e 1949, e, nesse último ano, foi para o *Medical Research Council (MRC) Unit for the Study of Molecular Structure of Biological Systems*, criado em Cambridge, 1947. Essa unidade foi importante na criação e na aceitação da nova disciplina de Biologia Molecular e, em 1957, transformou-se no *MRC Laboratory of Molecular Biology*. Ali se tornou aluno de doutoramento de um ex-refugiado austríaco, Max Perutz, que, algum tempo depois, ganhou o Prêmio Nobel por ter determinado a estrutura da hemoglobina. O grupo de cristalografia de proteínas contava ainda com John Kendrew, que estudava a estrutura da mioglobina.

Conforme Ferreira (2003), Crick colaborou anteriormente com dois outros cristalógrafos, Van e Cochran, no problema sobre quais seriam as características especiais que se devia esperar nas figuras de difração por raios X de moléculas em forma de hélices. Em 1951, quando já havia adquirido técnicas e conhecimentos fundamentais em cristalografia, começou a trabalhar com James Watson.

Em 29 de julho de 2004, Francis Crick faleceu de câncer de cólon. Muitos cientistas e divulgadores de Ciência teceram comentários sobre a importância de seus trabalhos para o desenvolvimento da Ciência mundial. Almeida (2004, p. 1) chamou-o de gênio das Ciências Biológicas, afirmando que foi no Laboratório Cavendish, junto com Max Perutz, que Crick “*desabrochou de vez, exibindo vivacidade intelectual fora do comum, percepção aguda e original de resultados experimentais, capacidade crítica desconcertante, mas justa*”.

Colega de Crick, James Dewey Watson nasceu em Chicago, em 1928. Menino prodígio, ingressou na Universidade de Chicago aos 15 anos e doutorou-se em 1950, aos 22 anos, pela Universidade de Indiana, em Bloomington, com o

geneticista Salvador Luria, do Grupo Fago. Seu trabalho de tese envolveu trabalhos com a inativação dos fagos por radiação ultravioleta. Na opinião dos historiadores, seu trabalho com Luria e a leitura do livro de Schrödinger foram decisivos na definição da atenção dada para a química do gene (STRATHERN, 2001; FERREIRA, 2003).

Em 1951, Watson ingressou no *Cavendish*, encontrou-se com Crick, e, apesar de serem especialistas em áreas diferentes (Biologia e Física, respectivamente), surgiu entre eles um trabalho cooperativo. Mesmo não sendo um projeto oficial, eles se aliaram com o objetivo de propor uma estrutura para o DNA utilizando os dados que lhes eram acessíveis (OLBY, 1994; HAUSMANN, 2002).

O diretor do *Cavendish* era Sir Lawrence Bragg que, ao lado de seu pai Sir William Bragg, havia desempenhado um papel proeminente na criação da cristalografia por raios-X, técnica que permitiu à visão humana estender-se além do alcance da luz. Por mais potente que um microscópio seja, ele só pode ver objetos maiores que o comprimento de onda da luz. Os raios-X são uma forma de radiação eletromagnética que tem comprimento de 5.000 a 10.000 vezes mais curto que o da luz, isto é, um comprimento de onda semelhante, em tamanho, à distância entre os átomos num cristal. Quando um fino feixe de raios-X é passado através de um cristal, ele é difratado pelos átomos do cristal e emerge na forma de um padrão complexo. Se esse padrão é registrado numa chapa fotográfica, é possível deduzir dele a estrutura do cristal (STRATHERN, 2001; FERREIRA, 2003).

O trabalho em cristalografia de raios X também era desenvolvido no *King's College*, em Londres, onde trabalhavam Wilkins e Franklin.

Em novembro de 1951, Watson participou de um seminário de Rosalind Franklin ao lado de Wilkins, um amigo de Watson. Durante o seminário, Franklin sugeriu uma estrutura helicoidal para o DNA, a partir dos dados de suas fotos de difração de raios X. Na concepção de Franklin, o DNA consistiria em algo entre duas e quatro cadeias helicoidais entrelaçadas. Cada hélice teria uma coluna vertebral de fosfato-açúcar, com bases nitrogenadas ligadas a ela (adenina, guanina, timina, citosina). Essas bases pareciam estar presas no interior da hélice, possivelmente formando ligações entre as cadeias helicoidais (STRATHERN, 2001).

Com esses dados na memória, Watson construiu, juntamente com Crick, um modelo para a estrutura do DNA, que ambos apresentaram em uma reunião com os pesquisadores do *Cavendish* e com a equipe de Franklin e Wilkins. Franklin logo percebeu as falhas, pois o modelo não correspondia aos seus dados de difração dos raios X. Em seu seminário, ela havia apresentado a difração de uma das formas do DNA, a forma A (desidratado). Assim, as fotografias que Watson e Crick utilizaram para construir o modelo eram de uma molécula que tinha muito menos água do que deveria ter. Para montar uma estrutura mais aceitável, deveria ser prevista uma maior quantidade de água (STRATHERN, 2001; FERREIRA, 2003).

Após essa reunião, Sir Lawrence Bragg, chefe do Cavendish, proibiu que Watson e Crick continuassem o trabalho com DNA, deixando o domínio do assunto exclusivamente para o *King's College*. Crick recebeu ordem de voltar para seu trabalho sobre proteínas, e Watson, por sua vez, foi encorajado a retornar para seu próprio campo, os fagos (McGRAYNE, 1994; HAUSMANN, 2002).

Assim, o empreendimento de Crick e Watson, que visava à proposição da estrutura do DNA, parecia ter sucumbido e “*na primavera de 1952, Rosalind Franklin era a única pessoa que trabalhava no DNA em período integral*” (McGRAYNE, 1994, p.330). Nesse ponto, podemos identificar a importância da contribuição individual do sujeito, como afirma Fleck (1986a, p. 92), embora a construção do conhecimento seja um empreendimento coletivo, “*isto não quer dizer que não se tenha em conta o indivíduo como fator epistemológico*”.

As condições desfavoráveis foram superadas por Watson e por Crick, graças à ambição ilimitada que possuíam, e aos esforços que estavam dispostos a fazer para alcançar seu objetivo de propor uma estrutura para o DNA. Desse modo, o estudo dos fagos era, como o próprio Watson (1968, p. 91) afirma, “*a fachada perfeita para disfarçar meu persistente interesse no DNA*”. A atitude de Crick, conforme Strathern (2001) era mais explicitamente rebelde, ao afirmar que ele poderia ter sido proibido de trabalhar com o DNA, mas que ninguém na face da Terra poderia proibi-lo de pensar sobre ele. Essas atitudes individuais só tiveram sucesso porque repercutiram significativamente sobre o trabalho coletivo que se estabeleceu a partir desses posicionamentos surgidos em momentos socialmente apropriados (FLECK, 1986a).

Apesar do erro cometido e da conseqüente proibição, os dois pesquisadores continuaram sua busca pela estrutura da molécula. Para Fleck (1986a), os muitos empreendimentos fracassados e os erros cometidos são partes do material de construção de um fato científico. Se na Ciência não se pode jamais alcançar a verdade absoluta, o que realmente interessa é o caminho percorrido para se aproximar da verdade, não importando os erros que se cometem ao longo do mesmo. Pois, segundo o autor, não há nenhum erro absoluto, e tampouco existem verdades absolutas.

Em 1953, Watson e Crick tomaram conhecimento do conteúdo de um esboço de artigo, enviado pelo químico Linus Pauling (1901-1994) ao filho, Peter Pauling, que trabalhava com Watson e Crick no *Cavendish*. Nesse artigo, a partir de seu conhecimento sobre a estrutura helicoidal das proteínas, Pauling fazia a proposição de uma tripla hélice para a estrutura do DNA. Essa informação intensificou a competição entre os pesquisadores (GRIBBIN, 1985; McGRAYNE, 1994; FERREIRA, 2003).

Diante disso, Bragg autorizou-os a reativar – oficialmente - suas pesquisas sobre DNA (McGRAYNE, 1994; HAUSMANN, 2002). Para chegar à proposição da estrutura do DNA, de acordo com Brown (1999, p. 25-26), Watson e Crick “*usaram a modelagem – eles literalmente construíram um modelo em escala do que acreditavam ser a molécula de DNA, baseados em todo tipo de informação disponível à época*”. Roberts (1993) comenta que Watson e Crick planejavam usar modelos das unidades componentes feitos na loja de máquinas do Laboratório *Cavendish* da Universidade de Cambridge e colocar as peças do modelo juntas, de modo a satisfazer as especificações obtidas pelas fotos de raios-X dos cristais de DNA. Enquanto esperavam que operadores fizessem os modelos de metal, Watson e Crick ocupavam-se com desenhos das bases e com modelos de papelão.

Nesse ponto pode-se observar que, embora, muitas vezes, a História da Ciência nos pareça uma forma de encadeamentos de fatalidades, ela realmente é um encadeamento de escolhas livres efetuadas em circunstâncias determinadas. Watson e Crick optaram por uma metodologia que se constituía numa espécie de montagem com modelos moleculares, ao invés de utilizarem apenas dados da cristalografia e terem lápis e papel como principais instrumentos de trabalho. Essa

opção metodológica foi idéia de Watson, inspirado na forma de trabalho de Pauling, ao propor a estrutura α -hélice das proteínas, um alinhamento linear dextrógiro helicoidal ou espiral dos átomos das moléculas gigantes (WATSON, 1968).

Para ter sucesso, o modelo teve que obedecer às leis da Química e considerar os resultados de duas outras investigações sobre a estrutura do DNA, uma realizada por Chargaff, em Nova Iorque, e outra, por Rosalind Franklin e Maurice Wilkins, em Londres. A primeira investigação estabeleceu as proporções de bases na composição da molécula, abrindo caminho para a estrutura atualmente aceita. A segunda, proporcionada pelo padrão de difração de raios X, obtido quando uma fibra de DNA cristalizado é irradiada com raios X, permitiu inferir que o DNA é uma molécula helicoidal. Linus Pauling, com seu modelo de estrutura α -hélice das proteínas, também serviu de referência para o trabalho de Watson e Crick (ROBERTS, 1993; HAUSMANN, 2002).

Para Almeida (2003), também é importante destacar a significativa participação de outro membro da comunidade científica do *Cavendish*:

Creio que não se pode omitir a contribuição crucial e decisiva de Jerry Donohue, físico-químico e cristalógrafo, que durante 1952-1953 ocupou a mesma sala de Watson e Crick. Já de posse dos parâmetros estruturais básicos, no processo crítico de encaixar os modelos das bases na dupla hélice, Watson adotou de início a idéia de que o emparelhamento deveria se realizar entre bases idênticas, o que aparentemente explicaria a replicação do DNA e sua conservação. Donohue, profundo conhecedor da estrutura de bases purínicas e pirimidínicas, alertou-o para o fato de que, ao contrário do que constava nos textos mais conhecidos, o tautômero cetônico era na verdade a forma correta. Em consequência, o emparelhamento de bases idênticas tornava-se muito improvável, pois a grande diferença de tamanho entre um par de purinas (muito volumosas) e um par de pirimidinas (proporcionalmente muito pequenas) acarretava distorções estruturais inaceitáveis na hélice dupla (ALMEIDA, 2003, p. 10).

Gribbin (1985) também faz referência a Jerry Donohue (1920-1985), dizendo que foram as suas informações que despertaram, na dupla Watson e Crick, a percepção de que o emparelhamento purina-pirimidina tinha sempre dimensões similares, pois completaram as condições necessárias e suficientes para que eles propusessem uma estrutura para a molécula do DNA, que foi publicada em um artigo de apenas 900 palavras e um diagrama simples, na *Nature*, em 25 de abril de 1953. Nesse artigo, os autores reconhecem a contribuição de Jerry Donohue para a proposição do modelo (WATSON; CRICK, 1953).

Após esse evento, Watson voltou aos Estados Unidos para trabalhar em Harvard, continuando a fazer pesquisas com o DNA. Em 1965, publicou *Biologia Molecular do Gene*, considerado o melhor compêndio do tipo. Três anos depois, publicou *A Dupla Hélice*, seu relato pessoal da descoberta do DNA. Em 1988, foi para o *Cold Spring Harbor*, em *Long Island*, onde dirigiu o Projeto Genoma Humano até o ano de 1993. Atualmente mantém atividades científicas relacionadas com a biotecnologia (STRATHERN, 2001).

Quando se comenta sobre a estrutura do DNA, são os nomes de Watson e Crick que se destacam. No entanto, em 1962, o comitê do Prêmio Nobel reconheceu a importante participação de um membro do laboratório do *King's College*: Maurice Wilkins.

Maurice Wilkins nasceu em 1916, na Nova Zelândia, e estudou no *St. John's College*, em Cambridge. Trabalhou no Departamento de Física da Universidade de Birmingham, em uma pesquisa sobre luminescência em sólidos. Era um físico ambicioso que, em 1944, trabalhou na Universidade da Califórnia no Projeto Manhattan que criou a primeira bomba atômica. O resultado o havia deixado desiludido com a Física, e, depois da guerra, ele interessou-se por Biologia Molecular. Também influenciado pela leitura do livro de Schödinger, foi para o *Medical Research Council*, na unidade de Biofísica, no *King's College*, em Londres, em 1946. Ali começou a obter imagens do DNA com difração de raios X. Com um preparado de DNA da melhor qualidade, Wilkins observou que, ao tocar a solução viscosa de DNA com um bastão, filamentos longos se distendiam, os quais secavam rapidamente, sendo bastante finos para dar imagens de difração relativamente nítidas. Desse material, ele conseguiu produzir as melhores fotos até então produzidas. Somente Rosalind Franklin conseguiria fotos muito melhores. Foram essas as pesquisas que lhe renderam, com Watson e Crick, em 1962, o Prêmio Nobel. Em 1969, tornou-se presidente da *British Society for Social Responsibility in Science* (COUTINHO, 1998; STRATHERN, 2001; HAUSMANN, 2002).

Entre os cientistas que deram sua contribuição para a proposição de uma estrutura para o DNA, é encontrada apenas uma mulher – Rosalind Franklin. Silver (2003) afirma que muitos pensam que Rosalind merecia mais reconhecimento do que obteve e cita vários fatores que podem ter contribuído para isso: talvez por ser

mulher em uma época na qual os preconceitos eram ainda maiores do que nos dias de hoje - alguns sentiram que ela foi vítima do “Clube do Bolinha” - talvez devido a seu gênio retraído, à sua forma ortodoxa de trabalho, à falta de uma colaboração competente, ao atropelamento de valores éticos, pelos colegas, ao utilizarem alguns de seus dados sem sua permissão, à sua morte precoce, ou ainda, a outros fatores devidos ao puro acaso.

Concordo com Chassot (2003a) quando afirma que, embora algumas mulheres tenham sido muito importantes para a Ciência e para o mundo, a presença feminina não está registrada historicamente na trajetória intelectual. Por isso acredito que, no caso de Franklin, o fato de ser mulher, aliado às qualidades pessoais que caracterizavam sua forma de trabalho mais individual e dificultaram o intercâmbio científico poderiam ter influenciado na decisão em conceder-lhe o Prêmio Nobel, mesmo se ela ainda estivesse viva na ocasião.

No entanto, McGrayne (1994), no epílogo de seu livro, escreve que ela recebeu um merecido registro histórico. Em janeiro de 1992, a sociedade *English Heritage* pregou na porta do apartamento onde ela viveu seus últimos anos, em *Donovan Court 22, Drayton Gardens, Kensington*, Londres, a seguinte inscrição: “Rosalind Franklin, 1920-1958, pioneira no estudo das estruturas moleculares, inclusive o DNA, viveu aqui de 1951 a 1958”.

Uma outra demonstração do reconhecimento da comunidade científica contemporânea ao seu trabalho pode ser o fato de um novo edifício do *King’s College* ter o nome “*The Franklin Wilkins Building*” (FERREIRA, 2003).

A apresentação mais detalhada da trajetória de vida dessa pesquisadora, que farei a seguir, tem como objetivo ilustrar como a Ciência se constitui num processo dinâmico de construção influenciado por vários fatores. Além disso, pretende ressaltar a imagem da Ciência como instituição social que sofre pressões da sociedade em que se insere e no seio da qual ocorrem relações de hierarquia e poder, considerando que esses aspectos são freqüentemente negligenciados na educação científica.

Rosalind Franklin nasceu em Londres, no dia 25 de julho de 1920. Após sua formatura, em 1941, Rosalind passou um ano fazendo pesquisa em físico-química

com um futuro Prêmio Nobel, o químico Ronald Norrish. Como era época da Segunda Guerra Mundial, ela começou a estudar a estrutura física dos carvões e do carbono para a Associação Britânica de Pesquisa para Utilização do Carvão, numa contribuição ao esforço de guerra. Em seu Laboratório, Franklin enfocou um grande e importante problema do tempo da guerra: como utilizar, com mais eficiência, o carvão mineral e vegetal da Inglaterra. Entre os 22 e os 26 anos, ela publicou cinco artigos sobre carvões e carbonos que, até 1994, ainda eram freqüentemente citados e, em 1945, obteve o doutoramento em físico-química, na Universidade de Cambridge (McGRAYNE, 1994).

Em 1945, quando a guerra terminou, Rosalind, por intermédio de Adrienne Weill, conseguiu um emprego em Paris, no *Laboratoire Central des Services Chimiques de l'État* (MADDOX, 2002). Trabalhou nesse Laboratório até 1951 quando John Randall, o físico que propôs a chave para o radar na Segunda Guerra Mundial, formou uma equipe interdisciplinar de físicos, químicos e biólogos para estudar células vivas, no *King's College* da Universidade de Londres, e admitiu Rosalind. Para ela foi dada a tarefa de investigar a estrutura de determinadas fibras moleculares nas quais estavam interessados, podendo contar com o auxílio de um pós-graduando, Gössling, e com a assistência temporária de uma pós-graduanda, a senhora Heller. Franklin e Gössling trabalharam sozinhos no laboratório, coletando dados sobre o DNA, suficientes para escrever cinco artigos. Em apenas um ano no *King's College*, ela revolucionou o estudo do DNA (McGRAYNE, 1994; MADDOX, 2002).

Na primavera de 1952, Rosalind deixou fibras de DNA, em ambiente de alta umidade, expostas ao feixe de Raios X por um tempo mais longo. Após 62 horas, obteve uma fotografia magnificamente nítida do DNA, em forma de cruz e que se originava claramente de uma molécula em forma de hélice (anexo 10). “A fotografia foi considerada como das mais belas de raios X jamais feitas. Mas Rosalind guardou-a em uma gaveta. Continuou a analisar a fotografia A das fibras secas” (McGRAYNE, 1994, p. 330). Como especula Almeida (2003, p.9), “talvez para atender à sugestão de seu chefe, John Randall, interessado na forma A”, porém “com essa decisão, perdeu preciosos meses perseguindo uma falsa trilha”. Por outro lado, pode-se ponderar que Rosalind tinha seu maior interesse voltado para a cristalografia, não estando empenhada em desvendar a estrutura do DNA e, por

isso, deve ter dado pouca importância àquela fotografia. Utilizando a epistemologia de Fleck, poderia ser dito que o estilo de pensamento condiciona a forma como um fato é observado e analisado, assim como também dirige o desenvolvimento e a utilização de aparelhos e de instrumentos.

No *King's College*, Wilkins tentava reproduzir os dados de Rosalind sem sucesso, pois suas fotografias produziam menos informações que as dela. Watson e Crick estavam empenhados em construir modelos miniaturas baseados nos dados disponíveis e também no que se podia adivinhar sobre a estrutura do DNA. Franklin e Gosling não construíam modelos porque tinham os pontos dos Raios X, que achavam mais realistas. Isso ilustra bem uma das características de Rosalind: ela só publicava dados dos quais tinha certeza absoluta. Segundo Almeida (2003, p. 9), essa característica era decorrente de "*sua recusa inabalável a se desviar da ortodoxia estratégica seguida em cristalografia*". Para ela, modelos possíveis somente deveriam ser investigados após a obtenção de dados experimentais precisos.

Durante o inverno de 1952-1953, Franklin trabalhou com cálculos matemáticos, objetivando descobrir se a forma A do DNA era helicoidal como a forma B úmida e não explorou os resultados de modo a concluir a estrutura do DNA. Almeida (2003) chama a atenção para o fato de ela não ter tido um colaborador.

Nesse particular, é ilustrativo mencionar o flagrante contraste que existe na comparação da dupla (virtual) Wilkins-Franklin, inviável desde os primeiros encontros, com a dupla Watson-Crick, na qual os respectivos conhecimentos e formações se completavam em sinergia notável (ALMEIDA, 2003, p. 8).

Mesmo assim, como na construção de um fato científico, os trabalhos realizados não são desenvolvidos de modo independente. Ferreira (2003) afirma que os resultados das pesquisas de Rosalind Franklin e suas percepções peculiares a respeito da organização das bases no DNA ofereceram uma opção diferenciada ao caminho que Watson e Crick estavam percorrendo. Na publicação da proposição de estrutura para o DNA, na *Nature*, Watson e Crick citam Franklin entre os colaboradores do *King's College*, agradecendo o estímulo que suas idéias lhes deram. Além disso, Rosalind Franklin e outros cientistas envolvidos em estudos de DNA publicaram, no mesmo número da revista, artigos com os dados de difração de

Raios X que apoiavam a proposição de Watson e Crick (FRANKLIN; GÖSLING, 1953; WILKINS; STOKES; WILSON, 1953; HAUSMANN, 2002).

Mais tarde, Rosalind Franklin foi trabalhar com RNA, concentrando-se no Vírus do Mosaico do Fumo, no *Birkbeck College*, a escola noturna da Universidade de Londres. Como Watson e Crick também voltaram seus estudos para o RNA, eles se encontraram diversas vezes, até a morte da cientista, ocorrida em 16 de abril de 1958 (McGRAYNE, 1994).

A partir dos relatos históricos até aqui explicitados, pode-se inferir que a circulação intercoletiva de idéias (entre círculos esotéricos) foi fundamental para que se chegasse ao estabelecimento de um modelo de estrutura do DNA. Linus Pauling, que era químico, pertencente a outro círculo de saber, contribuiu com Watson e Crick, fornecendo, como referência, o modelo de estrutura das proteínas. Da mesma forma, Watson e Crick que, quanto à origem de sua formação, o primeiro em Biologia e o segundo em Física, pertenciam a círculos diferentes, ao aliarem seus conhecimentos, foram capazes de construir um conhecimento e *“a complementação entre Watson e Crick bem poderia ser tomada como o anúncio da necessidade da colaboração interdisciplinar para o progresso da nova Biologia prestes a surgir”* (ALMEIDA, 2003, p. 9). Essa construção, todavia, não teria sido possível, se não houvesse a circulação dos saberes de Wilkins e Franklin, ambos físicos, com seus experimentos de cristalografia por raios-X, para os círculos de Watson e Crick. Também foi indispensável o conhecimento químico que permitiu que a estrutura das bases nitrogenadas e dos outros componentes da molécula do DNA fosse determinada. Sendo assim, pode-se afirmar que, para chegar ao conhecimento da estrutura do DNA, houve a necessidade de uma circulação entre os conhecimentos construídos nos séculos dezessete ou dezoito, quiçá mais anteriores, o que levou Silver (2003, p. 440), a escrever que *“a hélice dupla deve muito à Lavoisier”*.

2.4. Implicações para o fazer e para o aprender Ciência

A análise desse fato científico demonstra que a Ciência não é algo dado, acabado, natural, mas uma construção. Não existe “descoberta” acidental, nem

tampouco os cientistas trabalham desinteressadamente. Segundo Roberts (1993), Watson e Crick decidiram aliar seus recursos interdisciplinares com o objetivo claro de ganhar o Prêmio Nobel, solucionando o mistério do DNA, o que se concretizou em 1962. Assim, a visão estereotipada de que o *“cientista seria uma pessoa invulgar, apaixonada pelo seu trabalho, desleixada em relação à sua aparência, sem preocupações com salários e com a aquisição de propriedades, vivendo mais ou menos no mundo da lua...”* (FREIRE-MAIA, 1998, p. 181), ainda muito presente entre os leigos, é questionada e desmistificada.

A valorização da perspectiva histórica da Ciência como um processo social, isto é, como *“uma obra de homens e mulheres que tanto influenciaram como são influenciados por seu contexto físico e social”* (Bizzo, 1991, p. 282), tem conseqüências sobre a forma de ensinar/aprender Ciências, pois:

(...) as concepções do professor sobre o que é a Ciência influenciam não só o que ele ensina, mas também como ensina. Não só o desenvolvimento de estratégias de ensino, mas também a imagem que o aluno adquire (readquire) da Ciência e dos cientistas (SANTOS, 1991, p. 38).

Nesse contexto, uma nova forma de conceber a Ciência como um conhecimento dinâmico, produzido por seres humanos com suas limitações, utilizando aparelhos nem sempre tão perfeitos, e inseridos dentro de um contexto sócio-histórico-cultural, poderá permitir a exploração de uma visão mais adequada da produção e da evolução do conhecimento científico, podendo trazer importantes contribuições à área da educação científica.

Igualmente, o desenvolvimento desse fato científico, cujo ápice foi a proposição do modelo da dupla hélice, geralmente considerado como o símbolo do início da era da Biologia Molecular, demonstra que *“a conjugação de esforços até então dispersos nos protocolos, na memória, ou no inconsciente de vários cientistas, tenha sido o marco inicial da interdisciplinaridade da biologia molecular”* (ALMEIDA, 2003, p.11). O fato é que Watson e Crick não fizeram experiências para determinar a estrutura helicoidal do DNA. Usaram as fotografias de difração por Raios-X obtidas por Franklin, construíram modelos e, com grande intuição, propuseram a estrutura helicoidal dupla.

Casonato (1992) comenta que Watson e Crick, em razão da necessidade de publicar uma solução para a estrutura do DNA de forma acessível para outros pesquisadores, simplificaram o processo, não apresentando os obstáculos encontrados ao longo do percurso. Para o ensino de Ciências, isso é um aspecto interessante a ser considerado, pois é essa versão simplificada de um fato científico que se encontra nos manuais escolares. A Ciência que é apresentada aos estudantes se reduz aos resultados finais (teorias, conceitos, modelos, experiências), sem fazer referência aos problemas dos quais aqueles resultados são a solução. Desse modo, o estudante fica com a impressão de que a Ciência se constrói de forma cumulativa, linear, sem outros obstáculos, além dos técnicos.

Essa narrativa corrobora o que Fleck (1986a, p. 141) expressa em sua obra, quando afirma que o fato científico é resultado de um contexto histórico, mediado por um estilo de pensamento como fruto do trabalho de um coletivo. Segundo o autor, o conhecer é uma atividade condicionada socialmente, sendo muito difícil considerar à parte as contribuições individuais. A atividade científica tem um caráter social, e a forma como pensamos ou vemos está condicionada pelo coletivo de pensamento ao qual pertencemos e que se encontra inserido em um quadro histórico, determinado pelo estilo de pensamento. Poderíamos dizer que, ao propor um modelo para a estrutura da molécula de DNA, esse coletivo de pesquisadores inaugurou um estilo de pensamento que é, até hoje, o norteador da pesquisa em Biologia Molecular. Com esse estilo de compreensão do ser vivo, que atingiu sua apoteose no Projeto Genoma Humano, abriu-se a possibilidade de modificá-lo através da engenharia genética. Esses avanços, por outro lado, poderão ter conseqüências desastrosas para a humanidade, decorrendo disso a necessidade de que se discuta a natureza da Ciência, incluindo o papel que desempenha na visão que o homem tem do mundo e de si mesmo.

As visões de mundo e de si mesmo que o homem tem fundamentam os processos de produção de conhecimentos científicos e guiam a utilização de seus resultados. Em vista disso, no capítulo 5 comentarei algumas das implicações que as preocupações éticas e morais decorrentes da utilização do conhecimento científico, a partir do advento da Biologia Molecular, têm sobre o ensino-aprendizagem da Biologia contemporânea e a formação de professores de Biologia.

No próximo capítulo disserto sobre a importância de se considerar, num curso de formação de professores de Ciências Biológicas, os aspectos epistemológicos da atividade científica e como as concepções dos alunos podem ser problematizadas.

3. COMO INVESTIGAR O QUE OS ESTUDANTES ENTENDEM SOBRE A NATUREZA DA CIÊNCIA

3.1. Concepções sobre natureza da Ciência e educação em Ciências

Um dos objetivos da tese foi investigar as concepções de Ciência apresentadas pelos estudantes do curso de Ciências Biológicas, de forma a proporcionar condições para a exploração de uma visão mais adequada da natureza, da produção e da evolução do conhecimento científico. Ao provocar uma reflexão sobre a natureza da Ciência, o professor influencia positivamente o estudante e essa influência repercute sobre o comportamento que este irá assumir, como docente, no futuro. Em vista disso, neste capítulo considerarei a concepção que o professor de Biologia apresenta quanto à natureza do conhecimento científico, incluindo o papel que atribui às aulas experimentais e à abstração na apropriação do conhecimento pelo estudante. Essa concepção constitui-se em um importante fator quando se pretende criar condições para conduzir um processo que proporcione uma educação científica adequada às necessidades da sociedade contemporânea.

A relação entre as concepções sobre a natureza da Ciência e a educação em Ciências tem sido temática de trabalhos de pesquisa realizados com o objetivo de investigar a importância da inserção histórico-epistemológica como solução para os problemas detectados nessa área. Como professores de Ciências, temos, enquanto sujeitos epistêmicos, o conhecimento como objeto de estudo; e, enquanto sujeitos educadores, a educação. Ao discutir epistemologia, nosso objeto de estudo é o

processo de conhecimento e, por isso, precisamos entender a natureza do conhecimento científico, isto é, tentar entender melhor o que e como faz o cientista para que possamos melhor ensinar Ciências aos estudantes, e, conseqüentemente, eles possam melhor aprender seus processos e conteúdos. Dito de outra forma, a aprendizagem das Ciências deve ser acompanhada por uma aprendizagem sobre as Ciências, isto é, sobre as dimensões históricas, filosóficas e culturais da Ciência (MONK; OSBORNE, 1997; MISGELD; OHLY; STROBL, 2000).

Harres (1999) realizou uma ampla revisão de pesquisas das concepções de professores sobre a natureza da Ciência e suas implicações para o ensino, pesquisas essas realizadas em contextos não brasileiros. Na primeira parte de seu artigo, comenta o trabalho de Lederman (1992), contendo mais de vinte pesquisas relacionadas com a concepção sobre a natureza da Ciência de estudantes. Entre outros aspectos, ele apresenta como concepções inadequadas mais comuns as seguintes: i) a consideração do conhecimento científico como absoluto; ii) a idéia de que o principal objetivo dos cientistas é descobrir leis naturais e verdades; iii) a existência de lacunas no entendimento do papel da criatividade na produção do conhecimento; iv) as lacunas para entender o papel das teorias e sua relação com a pesquisa; v) a incompreensão da relação entre experiência, modelos e teorias.

A partir das revisões de pesquisas sobre concepções de Ciência de professores, Harres (1999) afirma que, entre os anos 60 e 80, independentemente do contexto cultural, da experiência docente e do nível de atuação e de formação, os resultados mostram, de modo geral, uma aproximação da concepção indutivista-empirista. Esses resultados não são muito diferentes daqueles obtidos com estudantes, conforme dados de pesquisas apresentados por outros investigadores, como Petrucci e Dibar Ure (2001).

No Brasil, como já comentei no Capítulo 1, os dados obtidos por Borges (1991), que corroboraram os de trabalhos anteriores, revelaram que, entre os formandos dos cursos de Licenciatura em Ciências, Química, Física e Biologia no estado do Rio Grande do Sul, predominava a concepção indutivista-empirista. Recentemente, Gastal e Rezende (2004) apresentaram os resultados de uma pesquisa realizada com estudantes de graduação em Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, com o objetivo de identificar concepções sobre a natureza

da Ciência. Os dados obtidos indicam que o curso de graduação não tem rompido com velhas concepções sobre Ciência, e que a maioria dos formandos apresenta uma concepção puramente indutivista-empirista da Ciência.

As constatações anteriormente expostas provocam inquietações porque essa forma de conceber a Ciência, como neutra, a-histórica, constituída de teorias como verdades absolutas e o ato de aprender como passivo, pode trazer significativas implicações para o ensino-aprendizagem das disciplinas científicas. Hoje, principalmente na área da Genética, influências políticas, econômicas, morais e religiosas balizam muitas pesquisas em meio a um cenário de incertezas e verdades provisórias. A participação do cidadão nas decisões que envolvem a aplicação ou não desses conhecimentos recentes torna-se indispensável, pois nem sempre está presente o objetivo de proporcionar o bem estar da humanidade. Depreende-se disso que o ato de aprender já não pode mais ser entendido como algo passivo, sendo necessário proporcionar aos estudantes a oportunidade de participação no processo de pesquisa e de construção do conhecimento científico escolar.

A visão de Ciência que os professores têm depende, em boa medida, do que lhes foi ou é oferecido durante os cursos de formação, tanto inicial quanto continuada, e é reforçada pelos materiais didáticos que utilizam, em especial os livros didáticos, que estão impregnados de determinada concepção. Mesmo não havendo um tratamento explícito e sistemático dos aspectos epistemológicos nos cursos de formação, alguma visão histórico-epistemológica é transmitida durante o ensino, nas várias disciplinas (SLONGO, 1996).

Leite (2004) realizou uma análise das concepções de Ciência, presentes nos manuais utilizados em cursos de formação inicial de professores de Biologia em algumas universidades brasileiras durante a sua formação inicial. Cabe ressaltar que esses manuais e livros didáticos também são utilizados pelos estudantes do curso de Ciências Biológicas envolvidos no presente trabalho. A autora utilizou as seguintes categorias para analisar essas concepções:

- i. Idéia de continuidade, acumulação de conhecimento, história linear;
- ii. História centrada em heróis; descobertas apresentadas como resultado de trabalho individual;

- iii. Presença de anedotas e descobertas sem contextualização e sem realizar a ligação entre Ciência e sociedade;
- iv. Visão de Ciência ligada ao empirismo indutivista ou que conduziria ao realismo ingênuo.

Os resultados indicaram que os manuais analisados não fazem referência ao contexto social, econômico e político, o que pode propiciar a idéia de que a Ciência é uma atividade isolada das demais. Em relação à História da Ciência, são poucas as referências explícitas nesses manuais, e, como já observavam Monk e Osborne (1997), os livros didáticos também fazem apenas menção rápida a ela. Igualmente, Santos e Silva (2005, p. 788) concordam que “... *os manuais didáticos não trazem uma explanação sobre a história da ciência, não estabelecem uma ligação com a filosofia da ciência ou, muitas vezes, fazem referência aos heróis sem nenhuma aproximação com os conteúdos*”.

Para modificar essas concepções inadequadas de Ciência, alguns investigadores sugerem a utilização da História e Filosofia da Ciência. Lin e Chen (2002) realizaram uma investigação junto a um grupo que participava do programa de preparação de professores de Química, na *National Kaohsiung University*, de Taiwan, com o objetivo de verificar a influência da utilização da História da Ciência na mudança de concepção desses estudantes quanto à natureza das teorias científicas. O estudo foi desenvolvido com dois grupos de futuros professores. Um deles, o grupo experimental, foi estimulado a realizar leituras de acontecimentos históricos da Ciência e a desenvolver materiais didáticos similares para uso posterior. O outro grupo, chamado de grupo controle, não teve curso sobre História da Ciência. Antes do início do curso e ao final dele, ambos os grupos responderam a um questionário relativo às suas concepções sobre a produção do conhecimento científico. Além disso, as pesquisadoras analisaram as respostas quantitativamente e qualitativamente a partir de entrevista com alguns participantes do grupo experimental.

As autoras perceberam, no grupo experimental, significativo progresso no entendimento da natureza da criatividade, da importância e da função das teorias nas observações científicas. Evidenciaram a habilidade dos estudantes em articular exemplos ou em utilizar eventos históricos para apoiar suas visões. Antes do curso,

suas explicações eram baseadas em intuições de suas experiências diárias, mostrando dificuldades em exemplificar suas posições. Alguns entrevistados explicaram suas mudanças de pensamento devido às leituras realizadas durante o curso.

Durante o IV Encontro de Filosofia e História da Ciência, Borges *et al.* (2004) apresentam resultados de uma pesquisa com professores que lecionam disciplinas sobre Filosofia e História das Ciências em cursos de pós-graduação, relacionando-as à Educação em Ciências. A análise textual dos seus depoimentos foi organizada, inicialmente, em três categorias: trajetória de vida profissional, concepções sobre a natureza das Ciências e relações dessas concepções com a educação em Ciências. As conclusões apontaram para a importância das reflexões epistemológicas no ensino de Ciências, pois essas concepções, transmitidas a seus estudantes, contribuirão para melhorar, ou para enterrar o processo ensino-aprendizagem, já que elas nortearão a maneira como o professor introduzirá conceitos novos, a forma como irá dinamizar as aulas de laboratório, a proposição de problemas aos estudantes, entre outras.

Por outro lado, é preciso ter presente que ainda são poucos os livros e projetos que tratam desse assunto, particularmente na área de conhecimento da Biologia. Também são restritos os trabalhos de intervenção realizados, tanto no ensino básico quanto nos cursos de formação de professores, com a finalidade de realizar uma avaliação no sentido de buscar soluções para os problemas detectados. No entanto, essas limitações transformam-se em desafios, no campo de pesquisa em educação científica neste início do século XXI.

Ao resgatar, para depois problematizar, a concepção de Ciência apresentada pelos estudantes do curso de Ciências Biológicas, pretendo criar condições para a exploração de uma visão mais adequada da natureza, da produção e da evolução do conhecimento científico e contribuir para a melhoria do processo de formação inicial desses futuros professores.

3.2. Elaboração dos instrumentos de pesquisa

Esta etapa do trabalho consistiu na produção dos instrumentos de coleta dos dados de forma que se pudessem obter respostas ao problema proposto no início da investigação. Quatro situações foram elaboradas para nortear o questionário e as entrevistas semi-estruturadas realizadas com estudantes do curso de Ciências Biológicas e que se encontram no anexo 1.

As situações são compostas de textos, citações e um roteiro básico de questões que buscam contemplar aspectos referentes à concepção sobre a natureza da Ciência, empregando questionamentos que envolvem conhecimentos de Genética. Outro cuidado que tive, ao organizar os instrumentos de pesquisa, foi que ficassem próximos do cotidiano desses professores em formação inicial. Por isso, os textos, as citações e as falas foram extraídos de livros-textos utilizados, por eles, durante o curso, bem como de revistas e de jornais que costumam ler regularmente.

Algumas dessas questões foram elaboradas tendo como orientação a teoria geral do conhecimento de Juan Hessen (1994). Quando se reflete sobre as relações entre o sujeito e o objeto, acreditando que seja possível o conhecimento, isto é, que o sujeito possa apreender o objeto, então surge um problema que se relaciona com a estrutura do sujeito cognoscente. Para este autor, o homem é um ser com uma estrutura dualista: é um ser espiritual e um ser sensível. Logo, pode-se distinguir um conhecimento espiritual e um conhecimento sensível. A fonte do primeiro é a razão, enquanto a do último é a experiência.

A concepção sobre a possibilidade e a origem do conhecimento embasa a ação do professor e pode trazer contribuições ou complicações ao processo ensino-aprendizagem. Hessen (1994) apresenta algumas possibilidades derivadas dessa forma dual de encarar a estrutura do sujeito que conhece. Apresento, a seguir, uma síntese de cada uma:

A) Racionalismo: vê no pensamento e na razão a fonte principal do conhecimento humano e por isso considera que o conhecimento

somente merece, de fato, esse nome quando é logicamente necessário e universalmente válido. Foi o **mundo das idéias** de Platão que serviu de modelo ao racionalismo. A história revela que a maioria dos representantes do racionalismo procedem da matemática. Na Idade Moderna, o racionalismo alcançou muito mais importância a partir de Descartes, fundador da filosofia moderna.

B) Empirismo: contrapondo-se ao racionalismo, crê que a única fonte do conhecimento humano é a experiência. Enquanto o primeiro se deixa levar por uma idéia de conhecimento, o empirismo parte dos fatos concretos. Seus defensores procedem freqüentemente das Ciências Naturais. Sua origem remonta à Antiguidade, porém se desenvolveu sistematicamente na Idade Moderna, em especial na filosofia inglesa dos séculos XVII e XVIII. Seu fundador é John Locke (1632-1704), mas quem o desenvolveu foi David Hume (1711-1776).

C) Intelectualismo: fundado por Aristóteles, é uma mediação entre o racionalismo e o empirismo. Pois, enquanto o racionalismo considera o pensamento como a fonte e a base do conhecimento e o empirismo considera a experiência, o intelectualismo é da opinião de que ambos os fatores tomam parte na produção do conhecimento.

D) Apriorismo: é uma segunda mediação entre o racionalismo e o empirismo, sendo, no entanto, oposto ao intelectualismo. Considera não o conteúdo, mas as formas do conhecimento, recebendo essas formas o seu conteúdo da experiência. É nisso que se afasta do racionalismo e se aproxima do empirismo.

O pensamento científico atual tem sua origem no século XVII, apoiando-se principalmente nas concepções de René Descartes, Galileu Galilei e Francis Bacon. *“A concepção mais tradicional sobre a natureza do conhecimento científico é a de Francis Bacon, caracterizada pelo empirismo, por crer que o conhecimento origina-se na observação, e pela indução, por dirigir-se dos fatos às teorias, do particular ao geral”* (BORGES, 1996, p. 23). Em vista disso, o método científico tradicional, predominante desde o século XVII até a atualidade, sintetiza o empirismo

baconiano. Porém, essa forma de entender o desenvolvimento das Ciências já era contestada no século XVII, pelo filósofo David Hume. A crítica desse filósofo partia do ponto de vista lógico, pois a repetição regular de um fenômeno não implica na sua ocorrência no futuro. Entretanto, ele admitia que, se continuamos a realizar induções, é porque existe uma justificativa pragmática, isto é, existe um aspecto psicológico que é biologicamente útil. Desde então, o problema quanto à (im)possibilidade lógica da indução é conhecido como problema de Hume. No entanto, o próprio Hume reforçou o pensamento empirista, ao admitir que só a experiência permite estabelecer as leis naturais e as causas que produzem determinado efeito (BORGES, 1996; FREIRE-MAIA, 1998).

Foi a partir do empirismo e da indução que, no início do século XX, originou-se o positivismo que teve grande influência no pensamento científico moderno. A racionalidade técnica, derivada da concepção positivista de Ciência, ainda muito presente entre os professores da área científica, gera a visão inadequada de Ciência, atualmente questionada.

Para fazer o contraponto à concepção de Ciência predominante entre os professores, utilizo, no presente trabalho, a visão epistemológica de Ludwik Fleck, que entende o conhecimento como construção do indivíduo em interação social, considerando que idéias prévias influenciam observações e experimentos. Para Fleck (1986a), o conhecimento não é puro. Ele depende da relação do sujeito com o objeto em questão, pois o estilo de pensamento não apenas determina a observação do objeto, mas também acentua certos elementos enquanto despreza outros. Desse modo, propõe que o processo de conhecimento se dá na interação do sujeito com o objeto, mediado pelo estilo de pensamento e no interior de um coletivo de pensamento.

Ressalto que, se analisada de uma forma isolada, essa abordagem poderia ser vista como relativista, porém Fleck (1986a, p. 37) assinala que “*merecem prioridade as teorias que explicam racionalmente mais episódios da história da Ciência*”, deixando clara a dependência da observação em relação à teoria. Fleck, ao considerar, no processo de construção de um fato científico, a existência de conexões ativas e conexões passivas entre sujeito e objeto do conhecimento,

destaca que: “*Em primeiro lugar, é impossível isolar o objeto de observação do estilo de pensamento*” (FLECK, 1986c, p. 142).

Em vista disso, a distinção entre as conexões ativas e conexões passivas não é possível, considerando-se que as conexões ativas são utilizadas para entender as conexões passivas. Nos relatos de historiadores sobre o processo de construção do fato científico que resultou na proposição da dupla hélice para a estrutura do DNA, há momentos em que se pode identificar a existência dessas conexões e a sua inseparabilidade. A fotografia mais nítida do DNA, obtida por difração de Raios X, feita por Rosalind Franklin, embora tivesse a forma de cruz sugerindo que se originava de uma molécula em forma de hélice, foi guardada pela cientista numa gaveta (McGRAYNE, 1994). Contudo, quando Watson viu a fotografia, não teve dúvidas de que a estrutura do DNA só poderia ser uma dupla hélice. Comentou isso com seu colega Crick, e ambos decidiram esboçar um modelo de estrutura com base nas informações obtidas a partir da fotografia. Sem as informações da fotografia feita por Rosalind, os dois não teriam, provavelmente, chegado à proposição da estrutura. Por outro lado, somente os dados da fotografia não foram suficientes para que Rosalind se sentisse encorajada a pensar numa estrutura para o DNA. A questão que se põe a partir da observação, pelos cientistas, da foto feita por Franklin é: quais dados vieram do objeto (conexões passivas) e quais foram atribuídos pelo sujeito (conexões ativas)?

Aplicando as idéias de Fleck a esse exemplo, pode-se dizer que o estilo de pensamento condiciona a forma como um fato será observado e analisado, assim como também dirige o desenvolvimento e a utilização de aparelhos e de instrumentos. Os resultados obtidos pelas pesquisas fazem parte de um complexo construído, e, por esse motivo, não se pode tomar os dados isolados, sem relacioná-los ao cenário no qual estão inseridos, pois:

Nós olhamos com nossos próprios olhos, mas vemos com os olhos do coletivo, nós vemos as formas pelas quais o senso e o parâmetro das transposições permissíveis são criadas pelo corpo coletivo. Somos inclinados a completá-los, ambos no senso positivo e negativo, isto é, não vemos que alguns elementos estão ausentes, e somos cegos para adições desnecessárias (FLECK, 1986c, p.137).

Dessa forma, pode-se dizer que, embora na Ciência existam informações objetivas, nem sempre todas são levadas em conta, uma vez que somente aquelas que o coletivo faz ver serão consideradas. No exemplo citado anteriormente, a objetividade resultou da aceitação do modelo de dupla hélice pelo coletivo de cientistas. A Biologia Molecular está, hoje, estruturada com base na aceitação desse modelo, pois todos os dados empíricos obtidos até o momento são consistentes com o mesmo e inseridos numa teoria que explica satisfatoriamente o fato observado.

Isso demonstra que existem influências externas sobre o desenvolvimento das Ciências, e que as teorias hoje aceitas são mutáveis, não se constituindo como verdade absoluta. Em vista disso, não se pode aceitar a concepção indutivista e empirista do conhecimento, através da qual se pensa que o conhecimento científico parte da observação neutra, isenta de influências. Tampouco se pode falar em método científico referindo-se a um único método, com normas rígidas de procedimento. Na educação em Ciências, como afirma Borges (1996, p. 67), *“existe certa consciência quanto aos aspectos sócio-políticos da educação científica, entre esses alunos, mas talvez convenha aprofundar mais a questão epistemológica de como o conhecimento se processa”*.

Durante a realização das entrevistas, o **DNA** foi o tema central nas discussões, e essa escolha não foi aleatória. Elegi o DNA como foco norteador por várias razões. Inicialmente, a proposição do modelo de dupla hélice para a estrutura do DNA foi um marco na história da Genética, pois *“a espiral dupla foi convertida em ícone da nova biologia”* (ALMEIDA, 2004, p. 1), possibilitando a abertura de portas que conduziram à genômica, à proteômica e à biologia computacional.

Em 2003, por ocasião dos 50 anos da publicação de Watson e Crick na *Nature*, muitos livros, artigos e reportagens foram escritos e a mídia, desde então, tem utilizado o DNA como um símbolo da Ciência no século XXI. Além das revistas de divulgação científica e das páginas de Ciências em jornais apresentarem freqüentemente matérias relacionadas ao fato científico, em eventos relacionados a outras áreas, como na artística, na cultural e na esportiva, também se tem buscado inspiração na dupla hélice.

Durante a quarta edição da Bienal do Mercosul, no final do ano de 2003, o artista brasileiro Ary Perez, assessorado por um geneticista, foi o autor da sessão Arqueologia e Genética que chamou atenção pela criatividade. Ele construiu, no Armazém 7 do porto da cidade de Porto Alegre, onde a sessão ocorreu, um túnel tubular de 31 metros de comprimento, revestido por uma membrana de PVC, no qual foram impressas seqüências de DNA colhidas de 50 pessoas de várias origens étnicas, incluindo o geneticista que colaborou com o projeto. Se a idéia da IV Bienal foi analisar em profundidade as origens da América Latina, como diz Moreira (2003), pode-se verificar que a idéia do artista em combinar Arte e Ciência, embora original, refletiu a atual tendência de utilizar o DNA como símbolo da Ciência contemporânea.

No carnaval de 2004, a Escola de Samba Unidos da Tijuca, do Rio de Janeiro, desfilou na Marquês de Sapucaí, com o enredo “o sonho da criação, a criação do sonho: a arte da Ciência no tempo do impossível”. Apresentando uma inusitada viagem em uma máquina do tempo, 28 alas da escola apresentaram grandes realizações que marcaram a história da Ciência, desde a época da alquimia, passando pelas “máquinas de voar” e a energia elétrica, até chegar às viagens espaciais, à estrutura do DNA e à clonagem. Esse enredo lhe garantiu o vice-campeonato. De acordo com Almeida e Oliveira (2004), o carro mais comentado pela mídia e pelo público foi o da criação da vida, no qual 123 bailarinos, formando uma pirâmide azul, movimentavam-se como hélices da cadeia do DNA.

Durante a cerimônia de abertura dos Jogos Olímpicos, na Grécia, no dia 13 de agosto de 2004, uma das coreografias apresentava a molécula do DNA como símbolo da evolução do esporte.

Esse grande destaque que a celebração do jubileu de ouro da Dupla Hélice tem alcançado na mídia atualmente contrasta, segundo Olby (2003), com a pequena divulgação feita por ocasião da publicação na *Nature*. Naquela época, mereceram muito mais destaque a coroação da Rainha Elizabeth e a primeira escalada ao Monte Everest. O autor cita três razões importantes para que, hoje, se celebre esse fato científico com tanta ênfase. A primeira se relaciona à tradição construída de que a proposição da estrutura do DNA foi o marco de fundação da Biologia Molecular. A segunda deriva das possibilidades que esse modelo de estrutura trouxe para a compreensão do DNA como depositário da informação genética, bem como de como

ele poderia se duplicar e sofrer mutações. A descoberta das técnicas de DNA recombinante, inspiradas nesse modelo estrutural, possibilitando o entendimento, cada vez melhor, da complexa maquinaria celular utilizada para controlar a atividade cromossômica e gênica, constitui, segundo o autor, a terceira razão para a grande importância atribuída à dupla hélice.

Para ilustrar melhor ainda o destaque que a mídia tem dado ao DNA para chamar a atenção do público, pode-se citar o **DNA da Shell**, propaganda utilizada como recurso para dar credibilidade e para afirmar a superioridade da qualidade do combustível da distribuidora em relação ao das concorrentes. Existem até **shampoo e outros cosméticos** com DNA... Portanto, no cotidiano dos estudantes do curso de Ciências Biológicas, o DNA está muito presente.

Outro motivo que me fez eleger o assunto do DNA para balizar as entrevistas está relacionado ao sentido atribuído pelos estudantes ao termo modelo. Esse termo é utilizado no presente trabalho no sentido de representação teórica de alguma coisa, fenômeno, fato ou idéia, isto é, como abstração da realidade para facilitar sua compreensão ou abordagem (GALAGOVSKY; ADÚRIZ-BRAVO, 2001; ÁGREDA, 2004), sendo entendido como uma construção provisória, altamente convencional, ideal e contextualizada historicamente. Quando se utiliza a classificação de Gilbert e Boulter (apud KRAPAS *et al.*, 2003), a dupla-hélice constitui-se em um modelo consensual, pois é um modelo que surgiu do consenso de cientistas que discutiram em comunidade, sendo, por isso, aceito como tendo mérito.

Embora o modelo de estrutura do DNA tenha sido proposto com decisivas contribuições de dados empíricos, Almeida (2004) lembra que Watson e Crick não realizaram qualquer trabalho experimental. Eles utilizaram os dados obtidos por outros cientistas para criar o modelo. Nesse sentido, é importante que se tenha presente outros fatores que precisam ser considerados na construção e na aceitação de modelos e que encontram, na epistemologia fleckiana, uma importante contribuição, como discutirei mais adiante.

A seguir, são apresentadas as bases teóricas que fundamentaram a elaboração do instrumento e os objetivos das questões propostas.

Para verificar como os graduandos interpretam a existência de conexões ativas e passivas na construção de um fato científico importante para a Biologia Molecular, foi proposta a **situação 1** (ver anexo 1).

Fleck (1986a) considera que o estilo de pensamento é formado a partir de uma rede intrincada de idéias, de conhecimentos e de práticas estruturadas sistematicamente, contendo relações ricas em detalhes que garantiriam a homogeneidade de opiniões, na medida em que o coletivo de pensamento as compartilha. Nessas relações, representam papel fundamental as conexões passivas e ativas caracterizadas anteriormente. O entendimento dessas relações possibilita a compreensão e o uso de modelos no ensino, pois: i) quanto mais o conhecimento se distancia do pensamento comum, mais se acentuam as conexões ativas originárias de um coletivo de pensamento científico, e, em seguida, as passivas se tornam potencialmente mais explicitadas e percebidas, isto é, o objeto revela-se mais para o sujeito; ii) as diferenças de opinião em um coletivo de pensamento são tanto menores quanto mais diferenciado for o sistema de conexões ativas e passivas, isto é, quando uma quantidade cada vez maior de conexões passivas são estabelecidas tendo como referência poucas conexões ativas, manifestadas no estilo de pensamento por modelos e teorias. Logo, *“a descrição de um fato científico depende não somente do comportamento do cientista, mas também do modo como ele compreende a relação entre teoria e prática”* (BOMBASSARO, 1995, p.21).

Na **situação 2** (também no anexo 1), o aspecto a ser identificado relaciona-se com o sentido atribuído pelos alunos ao usar o termo **modelo**, conforme comentei anteriormente.

No processo ensino-aprendizagem em Ciências Biológicas, quando se faz experimentação ou observação da natureza, durante as aulas de Biologia, e de outras Ciências, está-se, todo o tempo, recorrendo a modelos. Não só o ensino, mas a própria produção do conhecimento científico faz-se por meio de modelos, produzidos dentro de um coletivo e de um estilo de pensamento. A objetividade, na Ciência e no ensino de Ciências, resulta da aceitação do modelo pelo coletivo: por exemplo, todos os biólogos, hoje, aceitam a estrutura da dupla hélice, assim como aceitam o fato da evolução, a estrutura das proteínas, dos lipídeos, etc., pois todos

os dados empíricos obtidos até o momento corroboram esses modelos, inseridos numa teoria que explica satisfatoriamente os fenômenos que observamos. No presente trabalho, o interesse foi verificar até onde os estudantes conseguem compreender que os modelos são construções da Ciência que possibilitam interpretar a natureza, mas não são cópias da natureza, conforme concebe o realismo ingênuo, fortemente presente em concepções indutivistas-empiristas.

Procurando identificar a imagem que os graduandos têm do conhecimento científico, foi proposta a **situação 3** (anexo 1).

Para o indivíduo portador de uma visão estática, o objetivo da Ciência deve ser a busca de evidências científicas consideradas verdades inquestionáveis. Nessa visão, o cientista é considerado um agente passivo de uma Ciência cuja natureza é estática, imparcial e desvinculada do contexto histórico. Por outro lado, a visão da Ciência como uma construção humana, provisória, suscetível de reformulação e de reconstrução (OLIVEIRA, 1993), identifica a visão dinâmica do conhecimento científico. Segundo essa visão, as teorias, as hipóteses e as leis científicas são provisórias e passíveis de questionamentos por serem construções individuais ou coletivas, dependentes das concepções do pesquisador ou dos pesquisadores.

A **situação 4** foi organizada a partir da leitura de Salzano (1999, p. 76) de que *“a palavra Ciência pode ter diferentes significados. Ela pode transmitir a idéia de seus métodos, os fatos e as teorias que considera, ou a sua instituição social (isto é, as pessoas e organizações que ‘fazem ciência’)*”. Também considerou a noção de Ciência que, conforme Fourez (1995, p. 21), na maior parte dos cursos de Ciências, é utilizada no código restrito, isto é, *“supõe-se saber do que se fala, e não se exige reflexão ulterior”*.

Nessa situação pretendeu-se identificar a visão que os graduandos têm sobre a forma como é construída a Ciência, pois:

A compreensão das Ciências Naturais como um projeto histórico, um conhecimento não acabado, dependente de um trabalho que dá oportunidade de expressão para indivíduos, mas cujo acervo é resultado selecionado de uma produção coletiva, além de dar um significado para as informações aprendidas isoladamente, desmistifica a ciência como um conhecimento para poucos eleitos, com perfis e capacidades muito diferenciadas (DELIZOICOV *et al.*, 2002, p. 145).

Entendo que essa forma de compreender a atividade científica é fundamental para que se possa, através da educação científica, contribuir para a formação de cidadãos críticos e reflexivos, isto é, indivíduos que não aceitem tudo como está, mas que busquem construir uma sociedade mais justa e digna para todos. Um primeiro passo é *“não aceitar que a Ciência e a sua aplicação tecnológica é fruto, apenas, de abnegados cientistas que ‘descobrem’ verdades provadas que já estão ‘escritas’ na natureza”* (MALDANER, 2000, p. 59). Além disso, considero importante que se tenha presente que a Ciência é feita por homens e mulheres que tanto influenciam como são influenciados pelo contexto sócio-histórico onde se encontram inseridos.

Essa visão possibilita uma nova abordagem para o ensino de Ciências. A memorização de fatos científicos torna-se menos significativa, pois esses fatos são mutáveis e não contribuem isoladamente para a compreensão dos fenômenos científicos. Nessa perspectiva, o papel do educador ganha outra dimensão, tornando-se necessário identificar as concepções que seus estudantes trazem para a sala de aula e, desse modo, abrir espaço para o debate que poderá proporcionar a possibilidade de construção coletiva e individual de conhecimentos.

A importância dessa discussão está no fato de que o ensino de Ciências não deve se restringir aos conteúdos científicos, sob pena de os estudantes adquirirem a concepção de que a Ciência é apenas um corpo organizado de conhecimentos. É fundamental que se perceba que os conhecimentos são produtos de um processo dinâmico de construção que é influenciado por vários fatores, porque *“... a palavra ‘ciência’ pode por vezes ‘aprisionar’, por exemplo, quando alguns passam a impressão de que, uma vez que se falou de cientificidade, não há nada mais a fazer senão se submeter a ela, sem dizer ou pensar mais nada a respeito* (FOUREZ, 1995, p.21).

A concepção de Ciência como apenas um corpo organizado de conhecimentos, que parece predominar entre estudantes de graduação em Ciências Biológicas (SCHEID; BOER; OLIVEIRA, 2004), constitui-se em elemento complicador para o entendimento da Ciência como construção humana e não como “ente individuado”. Chassot (2003b, p. 11-12) comenta que frequentemente se ouvem afirmações exageradas, como, por exemplo: *“vamos ouvir a voz da Ciência*

para que ela opine”, quando se discutem determinados assuntos como os relacionados aos organismos transgênicos. O autor sugere que a afirmação deveria ser substituída por “*Vamos ouvir cientistas*”, uma vez que, muito provavelmente, terão opiniões desiguais sobre o assunto.

Objetivando ampliar a idéia de Ciência como uma instituição social, na **situação 4** também se pretende problematizar o trabalho do cientista. Por ser uma instituição social, a Ciência sofre pressões da sociedade em que se insere, pois nela ocorrem relações de hierarquia e poder, propícias ao aparecimento de um ambiente de grande competitividade, que, somado a certas características pessoais de alguns cientistas, como a ambição desmedida, poderão levá-lo a tomar decisões que nem sempre são consideradas as mais adequadas para o benefício da humanidade (SILVA *et al.*, 1994).

É mister que o estudante perceba que a Ciência não consiste simplesmente na reunião de fatos verdadeiros acerca do mundo, mas também de alegações e de teorias acerca do mundo, feitas por pessoas que são chamadas de cientistas. Isso tudo decorre, em grande parte, daquilo que os cientistas dizem sobre o mundo, seja qual for o verdadeiro estado do mesmo. Além disso, a Ciência tem uma função na formação da consciência não apenas sobre o mundo físico, mas também sobre o mundo político e social. As afirmações dos cientistas são importantes para iniciar uma educação científica que tornará os estudantes competentes para entender o mundo e formar atitudes (LEWONTIN, 2000b). Portanto, é preciso uma educação científica que se envolva na formação da cidadania e, nesse aspecto, a adequada visão de Ciência e de cientista que o estudante possui é um forte aliado.

3.3. Caracterização dos sujeitos da pesquisa

Os estudantes que colaboraram com a pesquisa, realizada no segundo semestre do ano de 2004, cursavam o sexto semestre de curso. Esses estudantes no momento em que foram sujeitos de minha pesquisa, não haviam cursado qualquer disciplina ligada a um debate epistemológico, durante o curso. No semestre

seguinte, eles teriam uma disciplina denominada Introdução ao Estudo da Filosofia da Ciência, na qual algumas questões relativas à construção do conhecimento científico são tratadas.

Dos 33 estudantes matriculados na disciplina de Metodologia do Ensino de Ciências e Biologia, três são rapazes. A tabela 2 mostra que, embora a idade dos estudantes pesquisados varie entre 20 e 44 anos, a maioria deles situa-se na faixa etária entre 20 e 26 anos, havendo predominância acentuada de pessoas do sexo feminino (88%). Segundo Chassot (2003b), os relatos históricos demonstram que são os homens que predominam como profissionais da Ciência. Entretanto, percebe-se que nas licenciaturas, especificamente na área biológica, são as mulheres que ocupam a maior parte das vagas.

Outro aspecto a ser considerado é a constatação feita, a partir de conversas informais, de que a grande maioria dos indivíduos pesquisados, que ainda não haviam entrado no mercado de trabalho, buscaram o curso de Ciências Biológicas atraídos pelo destaque dado ao conhecimento construído nessa área, nas últimas décadas. Para Fourez (2003), o aumento recente no número de estudantes lançando-se em carreiras científicas nestes últimos anos mostra que uma boa campanha publicitária e o argumento do emprego têm efeito sobre os jovens. Os outros estudantes (06) optaram pelo curso com o objetivo de lograr um aperfeiçoamento profissional na área em que já atuavam como professores. Esses resultados corroboram os dados obtidos em um estudo realizado por Scheid; Boer e Oliveira (2004) envolvendo, além da URI, outras duas universidades brasileiras.

Tabela II: Idade e sexo dos sujeitos da pesquisa.

Idade (anos)	20	21	22	23	24	25	26	28	33	44	Total geral
Sexo F	4	9	4	1	2	1	4	1	1	1	28
Sexo M	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-	3
Total	4	10	5	1	2	1	5	1	1	1	31

Fonte: Pesq. de campo – Tese de Doutorado – Neusa M.J.Scheid – UFSC – Florianópolis – SC- nov/04

Com a colaboração desses sujeitos da pesquisa, após a realização do questionário e das entrevistas, foram obtidos resultados que possibilitaram uma avaliação do que os estudantes do sexto semestre de um curso de formação de professores entendem sobre a natureza da Ciência.

No próximo capítulo, são apresentados esses resultados, bem como algumas reflexões sobre as implicações dessas concepções sobre a forma de aprender/ensinar Ciências.

4. IMAGENS SOBRE CIÊNCIA DE ESTUDANTES DE UM CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Petrucci e Dibar Ure (2001) lembram que um dos fins básicos do ensino de Ciências é garantir que os estudantes adquiram uma compreensão adequada de sua natureza. Os aspectos que envolvem o que se considera uma compreensão adequada da natureza da Ciência já foram explicitados no Capítulo 2. De acordo com os autores, a publicação americana - *National Society for the Study of Education*, de 1960 - indicava que esse fim básico para o ensino de Ciências já havia sido proposto em 1920. Entretanto, ainda não tem sido satisfatoriamente atingido, considerando-se a sua presença constante como elemento crítico na literatura e, de forma explícita, nas reformas educativas tanto na Espanha quanto na Argentina. Em nosso País, conforme exposto no capítulo anterior, os resultados das pesquisas realizadas nas últimas décadas são consistentes com esse resultado, isto é, os estudantes brasileiros não possuem a imagem de Ciência que a educação científica propõe como um de seus fins.

4.1. Contextualização inicial

A Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), reconhecida pela Portaria n. 708, de 19 de maio de 1992, é uma instituição multicampi, com várias sedes. A principal situa-se em Erechim e as outras em

Frederico Westphalen, Santo Ângelo e Santiago, com extensões em Cerro Largo e São Luiz Gonzaga, todas no Estado do Rio Grande do Sul. É mantida pela Fundação Regional Integrada, entidade de caráter técnico-educativo-cultural, de fins não-lucrativos e pessoa jurídica de direito privado, com sede e foro na cidade de Santo Ângelo, RS. Ambas, universidade e mantenedora, caracterizam-se como instituições comunitárias com gestão democrática, conduzida por professores e com participação da comunidade regional. Outra característica é o fato de ser uma instituição de direito privado, mas não de propriedade privada, pois não tem dono, e seus atos resultam de decisões colegiadas. Embora sua principal receita seja oriunda das mensalidades pagas pelos estudantes, ela atende carentes, cumprindo finalidades de ordem pública.

No *campus* da URI de Santo Ângelo, o curso de Ciências Biológicas teve seu início em 1995 e, até 2004, preparou os estudantes para a licenciatura e o bacharelado. A partir de 2005, passou a ofertar apenas a modalidade de licenciatura. Em dez anos, foram graduados 130 estudantes. Não existem ainda disponíveis dados de pesquisa sobre o perfil dos egressos e suas atividades atuais. Existe um projeto de pesquisa em andamento no Grupo de Pesquisa em Educação, do qual faço parte, que objetiva resgatar esses importantes dados. No entanto, pela observação que tenho realizado no momento das visitas às escolas onde os estudantes realizam sua Prática de Ensino em Biologia, sob minha orientação, a grande maioria dos egressos está atuando como docente da área de Ciências. Essa constatação respalda a preocupação do presente trabalho com a formação inicial desses biólogos, futuros professores de Ciências e Biologia.

O Projeto Pedagógico do curso elenca como objetivos: a) Capacitar o egresso para atuar em escolas e desenvolver Ciências no Ensino Fundamental e Biologia no Ensino Médio, com consciência crítica e que atue de acordo com os valores universais e princípios éticos; b) Desenvolver habilidades que capacitem o biólogo nas suas múltiplas atividades, notadamente na docência, pesquisa e tecnologias, em assessorias técnicas de assuntos relativos à Biologia, inclusive ao Meio Ambiente, de acordo com sua área de especialização; c) Possibilitar, aos acadêmicos, a iniciação científica, através de projetos de pesquisa; d) Estudar e compreender as inter-relações que existem na natureza.

Diante dos objetivos do Projeto Pedagógico do curso, acredito que a concepção de Ciência que o estudante apresenta, ou que lhe é apresentada durante a sua formação, será um importante fator a ser considerado, pois irá balizar sua atuação profissional, quer como professor, quer como biólogo em atividades afins.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do questionário (anexo 2) e com a realização das entrevistas semi-estruturadas. É importante destacar que os resultados são apresentados com enfoque exploratório, com a classificação surgindo dos próprios dados e não de categorias elaboradas previamente. Todos os dados, bem como seu tratamento, são qualitativos. A síntese de todas as respostas obtidas no questionário encontra-se no anexo 3. A transcrição completa das entrevistas encontra-se no anexo 11 (em CDROM). Para facilitar a visualização das respostas consideradas essenciais na análise dos dados, fragmentos das entrevistas estão dispostos em quadros e as respostas do questionário estão sumarizadas em tabelas. Para a apresentação dos resultados, não considerei a seqüência das questões, mas as categorias que emergiram a partir da análise dos dados, por entender essa forma como mais adequada diante dos objetivos propostos.

4.2. Imagem de Ciência predominante entre os estudantes

A questão número 2 do questionário (anexo 2) faz parte da situação 3 do instrumento de pesquisa e visa investigar a imagem dos graduandos em relação ao conhecimento científico. A tabela III apresenta uma síntese dos resultados obtidos, que enunciam uma visão dinâmica de Ciência pela maioria dos estudantes.

Tabela III: Síntese das respostas dos graduandos sobre a possibilidade do conhecimento científico mudar no futuro.

Número de respostas concordantes com a afirmação	Afirmação escolhida	Tipo de visão
10	<i>“O conhecimento científico parece mudar com o tempo, porque conhecimentos novos surgem e complementam os conhecimentos velhos porque o conhecimento novo é adicionado ao conhecimento velho que não muda”.</i>	visão estática
26	<i>“Os cientistas atuais podem contestar as teorias ou proposições dos cientistas de tempos passados, ao usar técnicas novas ou instrumentos melhores”.</i>	visão dinâmica
17	<i>“Podem ser encontrados fatores novos antes negligenciados, ou até mesmo, erros na investigação original correta”.</i>	visão dinâmica
10	<i>“As idéias atuais explicam mais coisas que as idéias precedentes”.</i>	visão dinâmica
12	<i>“O conhecimento velho é reinterpretado levando em conta novos conhecimentos, pois os fatos científicos podem mudar”.</i>	visão dinâmica
5	<i>“O conhecimento científico parece mudar porque a interpretação ou a aplicação dos fatos velhos pode mudar; Porém, experiências corretamente terminadas produzem fatos inalteráveis”.</i>	visão estática

Fonte: Pesq. de campo – Tese de Doutorado – Neusa M.J.Scheid – UFSC – Florianópolis – SC- nov/04

Entre os entrevistados, percebeu-se muito presente a idéia de que o objetivo dos cientistas é produzir conhecimentos científicos corretos, mas que nem sempre eles dispõem de instrumentos e teorias adequadas no momento em que estão pesquisando o assunto. Essa idéia fica evidente ao se considerar o fato da mais expressiva concordância ter sido com as afirmações: *“Os cientistas atuais podem contestar as teorias ou proposições dos cientistas de tempos passados, ao usar técnicas novas ou instrumentos melhores”*, assinalada 26 vezes pelos estudantes, e *“Podem ser encontrados fatores novos antes negligenciados, ou até mesmo, erros na investigação original correta”*, assinalada 17 vezes. Cabe ressaltar que a alternativa permitia escolhas múltiplas, possibilitando ao estudante eleger mais de uma. Houve alguns poucos casos de estudantes que assinalaram afirmações que

demonstravam uma visão dinâmica e outras que indicavam uma visão contraditória, ou seja, uma visão estática de Ciência.

Manifestar uma visão dinâmica de Ciência ao responder à situação 3 proposta no questionário, no entanto, pode não refletir a imagem de Ciência que os estudantes possuem. Suas respostas podem ter sido baseadas em intuições de suas experiências diárias. Vivenciamos, atualmente, numerosas e rápidas mudanças decorrentes do avanço científico e de suas aplicações tecnológicas. Durante a entrevista, quando inquiridos sobre a possibilidade de um dia se poder chegar à conclusão de que a molécula de DNA não é uma dupla hélice, os estudantes manifestaram diversas vezes, como justificativa, o fato de a humanidade atualmente estar originando novos conhecimentos a partir de instrumentos mais precisos, e novos produtos chegarem diariamente ao consumidor, frutos da aplicação desses conhecimentos.

Ao responder à questão 3 do questionário (anexo 2), elaborada a partir de duas afirmações extraídas de Borges (1996), os estudantes novamente evidenciaram uma visão construtivista e dinâmica de Ciência, pois houve mais estudantes elegendo a alternativa B como a preferida, se fossem dar uma aula sobre a forma como se constrói o conhecimento científico. No entanto, existe a possibilidade dos estudantes terem respondido, considerando a aquisição de conhecimento ao longo da vida e não apenas o conhecimento científico. As explicações dos estudantes, para a escolha da alternativa, contêm alguns indícios como, por exemplo, as respostas de A5: *“Escolheria a letra A, e não mudaria nada, pois acredito que o conhecimento encontra-se fora de nós e que temos que buscá-lo. Se não fosse assim, não precisaria de ‘aperfeiçoamento e busca de conhecimentos’ ”* e de A20: *“Escolheria a letra B, porque adquirimos o conhecimento durante nossa vida, através das experiências vividas e da convivência com as outras pessoas, e através da cultura”* que, provavelmente, indicam que os estudantes não responderam pensando, especificamente, no conhecimento científico.

El-Hani, Tavares e Rocha (2004), numa investigação com estudantes de um curso de Ciências Biológicas, identificaram um equilíbrio entre os estudantes que admitiram e os que não admitiram haver demarcação entre Ciência e outras formas de conhecimento. Além disso, é necessário levar em consideração que essa turma

já cursou a disciplina de Didática das Ciências, na qual a professora dá ênfase à teoria de concepção de aprendizagem, que entende o conhecimento como sendo construído pelas interações do sujeito com o meio no qual está inserido.

4.3. A compreensão do processo de construção da Ciência

Apresento, a seguir, os resultados obtidos na situação 1 da entrevista, que objetivou verificar como os graduandos interpretam a existência de conexões ativas e passivas na construção de um fato científico importante para a Biologia Molecular.

Quando indagados sobre o que lhes vem à memória quando ouvem falar em DNA, duas respostas foram comuns: na primeira, mais freqüente, respondiam que o DNA lembra a dupla hélice; outra resposta era a de que o DNA representa nossas características, a receita para se construir um ser vivo. A grande maioria lembrou, facilmente, que foram James Watson e Francis Crick que propuseram a estrutura de dupla hélice para o DNA, expressando a idéia de que foi através de experimentos que eles chegaram a esse conhecimento.

As conexões ativas e passivas que, de acordo com Fleck (1986a), estão presentes na interação do sujeito com o objeto do conhecimento, na construção de um fato científico, parecem não ser levadas em consideração pelos estudantes. Nas suas respostas aparece um sujeito neutro, sem a carga sócio-cultural que vai orientar o que ele vai conhecer. Não obstante essa compreensão do processo de produção do conhecimento, Fleck afirma que: *“Sem dúvida, sempre se encontram no conhecimento cognoscitivo outras conexões que não são explicáveis nem pela história e nem pela psicologia (seja a individual ou coletiva). Justamente por isso parecem relações ‘reais’, ‘objetivas’ e ‘verdadeiras’. Denominarei estas conexões de passivas, em oposição às que qualificamos de ativas”* (FLECK, 1986a, p.56). Em outros termos, apesar da ênfase à dependência do conhecimento na relação epistemológica estabelecida entre sujeito e objeto, há uma caracterização segundo a qual a perspectiva do realismo faz-se presente. Isso ocorre através de conexões que o autor chama de passivas, sendo as ativas resultado da elaboração cognoscitiva do

sujeito no processo mediatizado pelas interações dele com o objeto e com o estilo de pensamento.

Nas palavras de Hubbard e Wald (1999, p.7), essa compreensão da maneira como se constrói o conhecimento científico, em sintonia com a teoria epistemológica de Fleck, demonstra que “...*contrariamente à opinião popular, os cientistas não são observadores destacados da natureza e os fatos que descobrem não são simplesmente inerentes aos fenômenos naturais observados*”. Para construir os fatos, os cientistas precisam tomar decisões sobre o que consideram mais significativo, necessitam eleger as experiências que realizarão e a maneira como descreverão suas observações. Os autores, no entanto, ressaltam que essas escolhas não são meramente individuais ou idiossincráticas, mas refletem a sociedade em que os cientistas trabalham, o estilo e o coletivo de pensamento no qual estão inseridos.

Quando perguntada sobre como poderia ter sido possível para Watson e Crick obter a informação crucial para a construção do modelo de estrutura do DNA, vendo a fotografia B, feita por Rosalind Franklin a partir da técnica da difração por Raios-x, a estudante A8 lembrou-se das figuras da *Gestalt* usadas pela professora de Metodologia de Ciências e Biologia. Como se pode verificar no Quadro I, a estudante não apenas lembrou das gravuras como as relacionou com a questão proposta.

Quadro I: Resposta da estudante sobre a possibilidade de ver a dupla hélice a partir da fotografia B.

Fragmento de entrevista

A8 –... Então é que nem naquela figura do coelho e do pato. Bom, vai ver que com o conhecimento que eles (Watson e Crick) tinham eles conseguiram ver. Entende, porque se tu não sabes como é o pato, tu não vais ver o pato naquela figura...

Percebe-se, na resposta da estudante, um ensaio de reflexão sobre o processo de construção da Ciência. Apesar disso, ela tem ainda muito presente a visão empirista de Ciência, provavelmente decorrente da formação científica

recebida até o momento e em sintonia com a maioria de seus colegas, como se poderá verificar mais adiante.

Mengascine *et al.* (2004) comentam que a grande maioria (93%) da população entrevistada por eles identificou a Ciência com a busca do conhecimento em alguma área da realidade natural ou social mediante a obtenção de informação ou realização de experimentos, de acordo com um item pré-estabelecido. De modo geral, pode-se afirmar que essa opinião coincide com o discurso dos estudantes envolvidos no presente trabalho, pois eles acreditam que, para o conhecimento ser científico, precisa haver a comprovação experimental, como expresso no Quadro II. Aceitam que as teorias têm contribuição, porém, enfatizam mais o processo experimental.

Quadro II: Fragmento de entrevista que ilustra a importância atribuída ao experimento para a Ciência.

Você acha que na Ciência a gente pode construir conhecimento científico só a partir de idéias, de teorias, sem fazer experimento?

A8 – Acho que não, porque Ciência é justamente isso, que tu tem que provar.

E – Você só consegue provar através de experimentos?

A8 – Através de experimentos, tem que fazer os experimentos para ti provar...

E – ... então, você só pode trabalhar na Ciência aquilo que tem como provar experimentalmente?

A8 – É, experimentalmente.

(...)

E – Na Ciência para a gente construir conhecimento científico, o que a gente precisa?

A8 – Certeza.

E – E como a gente vai ter certeza?

A8 – Através de experimentos.

E – Experimentos e teorias...

A 8 – ... Para tu ter o experimento tem que ter a teoria primeiro. Tu tens que saber sobre a coisa que tu vais trabalhar...

E – Mas só teoria não basta?

A8 – Eu acho que não, não na Ciência tem que ter estes experimentos, tem que ficar provado...

A opinião expressa por A8, na qual se verifica uma visão que se poderia chamar de **experimentalista**, pois considera que o desenvolvimento do conhecimento científico requer necessariamente experimentos, coincide com os resultados obtidos por El-Hani, Tavares e Rocha (2004). Isso sugere que os estudantes não reconhecem métodos não-experimentais como cientificamente válidos. Por outro lado, respostas, como a da estudante A8: “... *na ciência tem que ter estes experimentos, tem que ficar provado...*” se aproximam de uma visão **verificacionista**, considerando que explicitam a idéia de que o teste das proposições científicas, através de experimentos, tem como propósito a comprovação dessas últimas, sem mencionar a possibilidade de refutação.

O destaque dado ao caráter experimental da atividade científica também foi verificado entre professores em exercício por Fourez (2003) que cita algumas razões para isso. Primeiramente, seria a razão da experiência ser decisiva na aceitação ou rejeição de um modelo científico, embora, hoje, se reconheça que a experiência nunca fala por si mesma, devendo sempre ser interpretada a partir de uma teoria. Além disso, uma outra forte razão seria o fato da atividade experimental exercer uma reconhecida autoridade, sobretudo entre as áreas não-científicas. Soma-se a isso a grande ênfase dada pelos livros-texto ao caráter experimental das Ciências (BRUSH, 1974).

Fourez (2003) chama a atenção para o fato de que a excessiva valorização da experiência pode mascarar o caráter abstrato, inventivo e teórico das Ciências. Segundo o autor, o que o cientista pesquisa primeiro não é uma habilidade treinada, mas a construção de encenações das situações. Ele cria representações das quais se espera que possam ocupar o lugar do real nas discussões. Cita, como exemplo, o mapa rodoviário que, se bem utilizado, é mais útil, na prática, para discutir um itinerário do que a exploração do terreno. Para esse autor, o objetivo das práticas científicas não é fazer experiências, mas construir e saber se servir de representações adequadas, testadas e padronizadas das situações em que se age.

Desse modo, quando uma representação não dá conta de explicar bem a situação, será construída uma outra que será testada experimentalmente. O objetivo é verificar até que ponto essa representação abstrata permite agir no concreto. É preciso também deixar claro, no ensino de Ciências, os dois sentidos que o termo

representação pode ter. Um deles é o de representação como um espelho da realidade, isto é, uma imagem exata do real. Já um outro permite que se entenda a representação como sendo uma construção humana, uma técnica, uma encenação em função de objetivos. Essa dualidade é decorrente da visão epistemológica de Ciência que se tem. Assim como, utilizando o exemplo do mapa, não existe um único e verdadeiro mapa, mas é preciso considerar vários mapas (rodoviário, físico, político, entre outros) em função do que se quer pesquisar, também na Ciência as representações deverão ser compreendidas como um processo de intervenção e de criatividade realizada por humanos para humanos. É fundamental, conforme Fleck (1986a), considerar a existência de conexões ativas e passivas no processo de construção do conhecimento científico. Pois, se o objeto envia informações que são captadas pelo sujeito, este o faz a partir de sua vivência, isto é com seu estilo de pensamento que, por sua vez, está inserido em um coletivo de pensamento.

Se a visão de Ciência não tiver sintonia com o que acabo de expor acima, poderá conduzir ao realismo ingênuo. Para o grupo de estudantes que foi entrevistado, o conhecimento científico está dado na natureza. O papel do cientista é descobri-lo, e descobrir, como expressou uma aluna, é buscar um conhecimento que já existia, mas que ainda não era conhecido.

Quadro III: Fragmento de entrevista que manifesta a compreensão que a estudante tem de descoberta científica.

E – O que é descobrir?

A3- Descobrir a gente vai ver alguma coisa, vai achar alguma coisa sem que ninguém saiba ou sem que ninguém sabia da existência daquela coisa.

E – Mas ela já existia?

A3 – Já existia, só que ninguém sabia da existência daquela coisa...

E – Mas a coisa na natureza já estava ali daquela forma...

A3 – Sim, por isso ela teve de ser descoberta. E inventar é quando cria alguma coisa. Pega uma coisa e transforma em uma outra.

E – Então para você a molécula do DNA na natureza, ela já existe na forma de dupla hélice?

A3 – Já existe.

As respostas apresentadas no Quadro III indicam a presença predominante de uma visão empirista, embora se tenha presente que existem riscos em classificar os estudantes de acordo com categorias epistemológicas (como: empiristas, positivistas, entre outras), como alertam Petrucci e Dibar Ure (2001). Considera-se isso porque a grande maioria dos estudantes dá uma importância excessiva à experiência sensorial, considerando-a, muitas vezes, como única fonte capaz de originar conhecimento. Temos um exemplo disso nas falas seguintes: A5 - *Ah, com experimentos que tu vê o que acontece;* e A8 – *Eu sou bem assim, tem que ver para ti provar, entende?*

Quando não é possível o próprio indivíduo “ver” o objeto do conhecimento, ele confia no livro, como diz a estudante A1: *A gente sabe dos livros, né? Porque a gente não tem como visualizar, pelo menos um DNA* (Quadro IV). Contudo, o que fica claro nas explicações dos estudantes é que, na concepção deles, a experiência sensorial é determinante, tanto na compreensão, quanto na formulação de conceitos científicos.

Quadro IV: Fragmento de entrevista que manifesta a confiança da estudante na informação dada pelos livros.

<p><i>E – Você lembra como é a molécula do DNA?</i> <i>A1- Sim.</i> <i>E – Você pode me dizer...</i> <i>A1 –É uma dupla hélice composta por bases nitrogenadas, e pentoses,as bases são a guanina, adenina., citosina... timina, guanina, adenina e citosina.</i> <i>E – mas, essa dupla hélice, como é que a gente sabe que o DNA é uma dupla hélice?</i> <i>A1- Ah! (silêncio)</i> <i>A1- Pois é! A gente sabe dos livros, né? Porque a gente não tem como visualizar, pelo menos um DNA.</i> <i>E- E quem foi que propôs a dupla hélice?</i> <i>A1- Watson e Crick.</i> <i>E– Watson e Crick...você lembra o ano?</i> <i>A1 – Em 1953</i></p>

Em relação ao termo modelo, as respostas obtidas indicam que os estudantes não os distinguem da realidade, isto é, a maioria confunde o modelo explicativo da

estrutura do DNA com o próprio DNA. No Quadro V estão algumas respostas que serviram de indicação para essa constatação.

Quadro V: Respostas dos estudantes à indagação sobre modelos em Ciências.

Fragmento de entrevista

A4: *“Os modelos eu acredito que eles são verdadeiros, que eles são cópia da realidade, apenas são usados para fixar melhor a teoria... ver a realidade diretamente, a gente utiliza estes modelos”.*

Fragmento de entrevista

E – Mas você consegue ver o DNA no Laboratório?

A5- Não.

E –... fica difícil, então, para você entender como ele é?

A5 – Não fica difícil porque você vê o desenho.

E – Ah, então você tem um modelo que ajuda a compreender... e o que é um modelo?

A5 – É algo que alguém formulou... e que você estuda em cima daquilo.

E – Este modelo representa a realidade?

A5 – Pelo jeito, sim.

E – Eu poderia dizer que o modelo é uma cópia da realidade?

A5 – (silêncio)

E – (entrevistadora comenta sobre as idéias que existem sobre modelos...).

E – O que é mais provável: que o modelo seja uma cópia da realidade ou que ele seja uma suposição?

A5 – Que eles sejam uma cópia da realidade.

A constatação está de acordo com Solomon, Scot e Duveen (1996), El-Hani, Tavares e Rocha (2004) e Oliveira (2004), que relatam a existência, no campo da educação científica, de uma dificuldade em distinguir modelo e realidade que sempre se faz presente entre os estudantes. Frequentemente, eles acreditam que a realidade é descrita com fidelidade pelo modelo, isto é, não compreendem as diferenças entre o que é pensado e o que existe. Assim, estruturas moleculares como o DNA, por exemplo, não são compreendidas como conceitos, mas como espelhos - ou reflexos - da substância. Conforme Oliveira (2004), essa forma de identificação não representa qualquer problema, do ponto de vista da educação escolar, pois os exercícios e questões que são apresentados ao estudante não são modificados por ela.

Porém, do ponto de vista epistemológico, ele alerta que há uma grande diferença, considerando que essa identificação contribui para o fortalecimento do determinismo e não favorece a proposição de novas questões. E, se desejamos que o estudante seja um sujeito que participa, de maneira ativa, do processo de construção do conhecimento e não apenas memorize e repita verdades absolutas, ele precisa aprender a propor novos problemas e questões. É importante considerar que inclusive o próprio professor, ao propor novos problemas sobre o que é ensinado, pode suscitar questões sobre sua prática pedagógica, melhorando sua prática educativa. Esse será um passo importante para uma educação em Ciências que contribua para melhorar, no estudante, o gosto pela aprendizagem científica (OLIVEIRA, 2004).

Em vista disso, Galagovsky e Adúriz-Bravo (2001) advertem que algumas características dos modelos científicos devem ser explicitadas durante o trabalho em aula, uma vez que denotam uma posição epistemológica frente ao conhecimento científico apresentado. É fundamental que fique claro para o estudante que todo modelo, como tal, é provisório, e que nenhum modelo científico possui a verdade absoluta e definitiva sobre algo.

Não é somente em relação aos modelos que se recomenda a explicitação clara sobre suas características. Igualmente, conforme Lederman (1999), quando se deseja desenvolver, nos estudantes, uma compreensão de natureza da Ciência consistente com o conhecimento científico e as reformas educacionais atuais, isso deve ser feito. Segundo o autor, para que seja verificada uma relação de concordância entre a concepção de natureza da Ciência do professor e aquela de seus alunos, é fundamental a apresentação clara desse objetivo. Além de manter, em atividades de sala de aula, uma postura coerente com a visão que possui, o professor precisa também trabalhar tópicos sobre o assunto.

No presente trabalho, em relação à possibilidade do modelo de dupla hélice ser provisório, a estudante A8 comenta que: *“A estrutura é uma dupla hélice. Apesar de que, acho que foi no Fantástico⁷, que eu vi uma possibilidade de ser uma tripla hélice”*. Verifica-se que, embora expresse certeza da validade do modelo, possivelmente em virtude das evidências empíricas que o apóiam, ela não leva em

⁷ O Fantástico é um programa da Rede Globo de Televisão muito assistido pelos estudantes do curso.

conta o papel das teorias na construção de modelos, mas admite a possibilidade aventada pelo programa da televisão. Nesse aspecto, se pode ver como a mídia contribui para formar a opinião, mesmo que o professor não comente o assunto em aula. Nas aulas, em qualquer nível de escolarização, o professor dificilmente fala em modelos prováveis, não obstante a maioria das discussões em Ciências se desenvolva com o uso de modelos e que se reconheça que eles não são a realidade, mas aproximações que facilitam o entendimento da realidade. Em vista disso, talvez, nas aulas, devesse estar mais explicitamente presente a marca da incerteza, hoje tão característica de áreas como a da Biologia Molecular, por exemplo.

Outra observação possível, a partir da análise dos resultados obtidos, é que o conhecimento que os estudantes possuem da história do DNA como fato científico está centrado em dois heróis: Watson e Crick. Quando perguntados sobre a participação de outros cientistas, respondiam que, possivelmente, deveria haver, porque a Ciência é um empreendimento coletivo, mas que nunca haviam ouvido falar em outros envolvidos. Possivelmente, essa idéia, presente entre os estudantes, seja decorrente da visão de Ciência apresentada nos livros-texto por eles utilizados. Como indicou o estudo de Leite (2004), os autores de livros-texto colocam os cientistas como heróis geniais e seus trabalhos como marcos para a Genética. Nos excertos a seguir, isso fica bem evidenciado:

A descoberta da dupla hélice por James Watson e Francis Crick em Cambridge, 1953, foi um dos grandes triunfos da dedução na história da ciência e tem influenciado cada aspecto da genética molecular, bem como da biologia como um todo (BROWN, 1999, p. 24-25).

A descoberta da estrutura da dupla hélice do DNA foi um marco na biologia do século XX porque imediatamente sugeriu respostas a essas questões e, portanto, resolveu o problema da hereditariedade em âmbito molecular (ALBERTS *et al.*, 1999, p. 190).

Esses excertos foram retirados de dois livros que também são utilizados pelos estudantes envolvidos neste trabalho. A autoridade que tem a informação, presente no livro utilizado pelos estudantes, como fonte de consulta e orientação para o estudo, geralmente por indicação do professor, é significativa, como se pôde ver no fragmento de entrevista no Quadro IV.

Entre os estudantes entrevistados, percebeu-se que a Ciência não é vista como sendo construída, mas como algo dado, pronto. Suas opiniões demonstram que não existe para eles essa validação do trabalho do cientista por parte da comunidade científica, para que ele obtenha o reconhecimento que permita apresentá-lo publicamente. A Ciência aparece revestida pela imagem da neutralidade, ignorando-se a relação entre o sujeito e o objeto. Como afirma Susi (1994), essa concepção tem repercussões diretas sobre o processo de ensinar Ciências, pois leva o professor a pensar que tem autorização para emitir opiniões próprias, em nome da Ciência, porque possui um diploma que lhe outorga a competência especializada que dá a sustentação necessária e suficiente. Isso torna o professor arrogante, sem disposição para ouvir as opiniões diferentes que o aluno possui, bem como o impede de tratar de assuntos que se afastem de sua competência específica. Um professor com essa atitude contribuirá para a produção de uma imagem dogmática, característica da Ciência moderna do século XVI. Nessa época, vivia-se o auge da produção de conhecimentos científicos significativos e que pareciam ser definitivos. O mundo contemporâneo não apresenta mais esta característica, pois constantemente o conhecimento científico produzido propõe novos desafios que precisam ser investigados, caracterizando uma época de probabilidades, e não de certezas definitivas.

4.4. A (não)neutralidade da Ciência

A Ciência ocupa um lugar privilegiado na cultura atual, e os produtos tecnológicos decorrentes dos conhecimentos científicos produzidos estão, cada vez mais, presentes no cotidiano dos cidadãos. Por outro lado, a consolidação da democracia vem criando espaços de participação da sociedade em temas polêmicos e que exigem conhecimentos científicos e tecnológicos básicos para a tomada de decisões adequadas. Em vista disso, um importante fator a ser considerado na educação científica, é a imagem de Ciência e dos cientistas que os estudantes têm.

Os cursos de formação de professores das áreas científicas, tanto inicial quanto continuada, raramente apresentam uma base epistemológica que propicie

uma reflexão sobre a natureza da Ciência. Dessa forma, o ensino de Ciências muitas vezes se restringe unicamente aos conteúdos científicos, desenvolvendo, nos estudantes, a concepção de que a Ciência é apenas um corpo organizado de conhecimentos, ignorando que por detrás dos conhecimentos existe um processo dinâmico de construção que é influenciado por vários fatores. Somando-se a isso, temos a forma como a mídia apresenta a Ciência, pois, como afirma Grinnell (1992), a presença de visões conflitantes no interior da Ciência é apresentada como algo não usual e não como um aspecto essencial e típico da Ciência. Isso pode ter repercussões sobre o processo ensino-aprendizagem das disciplinas científicas.

Pesquisas revelam que há, ainda, entre os leigos, uma visão estereotipada dos cientistas, contribuindo para a imagem de um profissional isento dos problemas do cotidiano (FREIRE-MAIA, 1998; MANASSERO MAS; VÁZQUEZ ALONSO, 2001; LOUREIRO; MÍGUEZ; OTEGUI, 2004). Diante disso, é preciso ressaltar a importância que podem ter para a educação científica da população as iniciativas como a do Instituto Ciência Hoje, em parceria com a Rede Globo de Televisão, que tem veiculado inserções nos intervalos de programações, em horário nobre, visando à apresentação do cientista como um cidadão normal. Nessas inserções, aparecem cientistas, inclusive jovens, vestidos com roupas da moda, em atividades no laboratório, namorando num parque, caminhando na praia,..., enfim, em lugares e situações que seriam incomuns na visão estereotipada geralmente presente nos livros.

No entanto, apesar da televisão ser responsável por mais de 80% da aprendizagem realizada fora do contexto escolar, como afirma Terrazan (1998), não há unanimidade em relação à eficiência dessa ferramenta educativa. Suzuki (1985, p. 891) adverte que “*nós consumimos informações de forma não crítica, em porções fragmentadas e parciais, perdendo de vista a origem das mesmas*”. Somado a isso, embora sejamos “informatizados”, como afirma o autor, o problema está na mídia mais popular, como a televisão de programação aberta que, pelo fato de ser direcionada para a massa, divulga informações em grande volume, triviais, sem importância e, não raras vezes, erradas.

Diante disso, para que se atinja a almejada educação científica, devemos tomar os cuidados necessários para que os estudantes não se tornem apenas

consumidores de informação, mas que se esforcem em recriar criticamente, com expressão oral e escrita, o que viram, ouviram ou leram. Somente assim poderão compreender e viver adequadamente numa sociedade, fortemente influenciada pela Ciência e pela Tecnologia.

Nessa sociedade, a Ciência seguidamente é apresentada como tendo uma autoridade que legitima muitas atividades ou produtos. Ouvem-se, freqüentemente, em especial nas propagandas, comentários como: *“isto foi cientificamente comprovado...”*. Essa autoridade nasce das relações que constituem a comunidade científica, ou ainda, a autoridade da Ciência não é fruto de qualidades abstratas do método científico, mas surge a partir de relações sociais concretas (SUSI, 1994). Na Ciência, verdade é o que é validado pelas relações que circulam entre os integrantes de uma comunidade científica. Isso corrobora o que Fleck (1986a) afirma ser a construção de um fato científico, que se realiza no interior de um coletivo de pensamento, mediado por um estilo de pensar.

Uma parcela significativa (58%) do grupo de estudantes do curso de Ciências Biológicas da URI-Santo Ângelo que participou da pesquisa demonstrou ter uma imagem idealizada da Ciência e dos cientistas. Quando questionados: *“Em relação aos transgênicos, não seria suficiente ouvir a opinião dos cientistas para proibi-los ou liberá-los para consumo humano, por exemplo? Por quê?”*, as respostas mais comuns (18 de 31) evidenciaram a aceitação dessa autoridade através de respostas como as transcritas na Tabela IV.

Tabela IV: Justificativas de entrevistados favoráveis à possibilidade dos cientistas serem os únicos envolvidos na decisão de liberar ou não os transgênicos para consumo humano.

Estudante	Justificativa
A3	<i>Sim. Por que eles conhecem os seus benefícios.</i>
A4	<i>Sim, pois eles conhecem os benefícios e alguns prováveis malefícios.</i>
A5	<i>Sim, pois estes procuram preservar o bem estar da humanidade.</i>
A8	<i>Não sabemos ao certo o que um organismo geneticamente modificado pode fazer em nosso organismo, como ele vai reagir, para termos estas previsões é preciso estudo, experiências feitas por cientistas.</i>

Estudante	Justificativa
A9	<i>Sim, porque eles defendem a pesquisa e regulam com cuidado o uso comercial de transgênicos.</i>
A11	<i>Seria suficiente ouvir apenas a opinião dos cientistas, desde que fossem pessoas de confiança e que fossem “neutros” nesta disputa econômica, pois um cientista sabe muito mais se um transgênico pode prejudicar nossa saúde do que um político, que não entende a fundo o assunto em si, e só pensa no que é mais lucrativo.</i>
A12	<i>Sim, pois os cientistas devem aprovar ou não, pois estão fazendo diversas experiências para testar seus efeitos e causas.</i>
A16	<i>Porque há uma opinião pública muito grande, e quem irá consumir esses produtos são pessoas que não têm muito conhecimento sobre o assunto. Porém, estarão depositando suas esperanças em algo duvidoso.</i>
A17	<i>Sim, acho importante pesquisas em torno dos alimentos transgênicos para se certificar dos efeitos que causam no futuro.</i>
A18	<i>Sim, pois os cientistas têm conhecimento suficiente para avaliar a influência desses no ambiente. Além de tudo conhecem os métodos para as pesquisas.</i>
A20	<i>Sim, pois para nossa saúde é isso que interessa, o problema são os interesses políticos e econômicos que envolvem esta questão.</i>
A22	<i>Eu acredito que sim, já que são eles os responsáveis pela pesquisa e são capazes para isso.</i>
A24	<i>Eu entendo que seria, pois se os cientistas, que estudam anos o assunto não tem aval para isso, quem deverá ter?</i>
A25	<i>Sim. Porque os cientistas pesquisam sobre isso e os resultados devem ser publicados, bastando a palavra deles. Porém muitas pessoas não acham isso suficiente.</i>
A28	<i>Sim, porque não sabemos o que esses produtos podem causar no futuro.</i>
A29	<i>Sim, pois eles sabem o que é cientificamente correto.</i>
A30	<i>Sim. Eles fizeram testes e estudaram sobre o assunto e sabem dizer se tem de ser proibidos ou não.</i>
A31	<i>Eu acredito que sim. Pois os cientistas têm o poder de pesquisa, descoberta dos malefícios ou benefícios do uso dos transgênicos.</i>

Fonte: Pesq. de campo – Tese de Doutorado – Neusa M.J.Scheid – UFSC - Florianópolis – SC-nov/04

Pode-se inferir que a imagem positiva que a autoridade do cientista confere no momento em que precisam ser tomadas decisões em assuntos polêmicos decorre da suposta neutralidade que é atribuída ao seu trabalho. A resposta da estudante A9: “*Sim, porque eles defendem a pesquisa e regulam com cuidado o uso comercial de transgênicos*” é um indicativo.

Da mesma forma, algumas das respostas à questão 4.c do questionário: “As decisões científicas levam em consideração o bem estar da humanidade, enquanto as regras do mercado econômico visam a maior parcela do lucro possível. O que você pensa disso?” também demonstram uma imagem de neutralidade em relação ao trabalho dos cientistas, como se pode ver nas respostas na Tabela V.

Tabela V: Comentários dos estudantes em relação à afirmação de que as decisões científicas levam em consideração o bem estar da humanidade, enquanto as regras do mercado econômico visam a maior parcela do lucro possível.

Estudante	Justificativa.
A3	<i>Concordo plenamente, pois o mercado quer lucros.</i>
A4	<i>Concordo plenamente, pois o mercado econômico quer lucro independentemente de prejudicar ou não a humanidade.</i>
A6	<i>Acho que infelizmente tudo gira em torno da economia e muitas vezes não damos importância para a Ciência.</i>
A14	<i>Que a Ciência quer melhorar, aperfeiçoar a tecnologia para melhorar a vida da população enquanto o mercado só visa o lucro.</i>
A15	<i>A Ciência sempre faz o que é melhor para a humanidade.</i>
A19	<i>Penso que os cientistas estão certos em levar em conta o bem estar da humanidade e acho que esse deve ser o papel deles.</i>
A21	<i>Concordo porque o mercado econômico só quer dinheiro sem ver o que as pessoas querem e se faz bem ou não para as pessoas.</i>

Fonte: Pesq. de campo – Tese de Doutorado – Neusa M.J.Scheid – UFSC – Florianópolis –SC- nov/04

A visão de neutralidade do trabalho do cientista não é apenas encontrada no senso comum ou no ambiente escolar/universitário, mas pode também estar presente entre os próprios cientistas. Constata-se isso nas declarações do cientista Gianpiero Palermo, que chefia o laboratório de Reprodução da Universidade de Cornell, em Nova Iorque, em entrevista concedida a Camargo (2005) e publicada num veículo de grande circulação, o jornal Zero Hora, de Porto Alegre. Palermo desenvolveu a Injeção Intra-Citoplasmática de Espermatozoides, que consiste em romper a parede do ovócito com uma agulha finíssima e em introduzir ali um único espermatozoide. Quando perguntado se não seria ir longe demais em relação à possibilidade de gerar um bebê fora do corpo da mãe, respondeu: “Quando você é um cientista, você focaliza uma única pergunta e tenta respondê-la. Se tem de parar

e olhar para as conseqüências, você é um político. Nós deixamos isso para os éticos, os moralistas, os políticos e a sociedade". Percebe-se, claramente, sua visão racionalista técnica, derivada da visão positivista de Ciência, além de generalizar um posicionamento pessoal como se todo cientista pensasse como ele, como se o fato de ser cientista lhe concedesse uma certa isenção em relação às conseqüências da aplicação do conhecimento que produz.

Considero significativo o fato de um considerável número de estudantes ter respondido, na questão referida anteriormente, que não se deveriam ouvir apenas os cientistas. As justificativas foram de que é preciso ouvir também a população - que vai consumir esses alimentos - os médicos - que entendem mais da saúde - e os agricultores - que irão cultivá-los. A estudante A7 respondeu: "*Não, porque não se pode ter plena garantia da neutralidade do cientista*". Perceber o cientista como um indivíduo que sofre a influência do contexto social, histórico e econômico no qual está inserido é um passo importante para uma compreensão adequada da natureza da Ciência. Se o conhecimento científico for visto como uma construção humana, em permanente transformação, então as afirmações científicas são provisórias e não podem ser aceitas como completas e definitivas. Por isso, algumas respostas dos entrevistados, quando indagados sobre o papel que cabe aos cientistas no Projeto de Lei que regulamenta o uso dos transgênicos, provocam inquietações, como, por exemplo, as falas das estudantes: A15 – *Divulgar o conhecimento correto*; e A29 – *Esclarecer a verdade sobre os transgênicos*.

Essas opiniões expressam uma consideração do conhecimento científico como absoluto e como se o trabalho dos cientistas se resumisse ao objetivo de descobrir leis naturais e verdades. Essa concepção de Ciência terá repercussões na forma com que esses estudantes ensinarão, futuramente, temas mais polêmicos em Biologia, como são os relacionados à Biologia Molecular. Essa área, que se caracteriza por transformações rápidas do conhecimento, com a presença de muitas incertezas, é apontada, atualmente, em muitas pesquisas, como sendo a mais problemática para o ensino científico. A compreensão das idéias de Fleck (1986a) sobre como ocorre a construção do conhecimento pode trazer grandes contribuições ao processo ensino-aprendizagem de Biologia e de minimizar os problemas encontrados.

Em vista disso, argumento que uma boa formação do professor de Biologia é, cada vez mais, imprescindível. E essa formação deverá oferecer condições para que ele não se atenha ao que é apresentado nos livros didáticos, não raras vezes de forma superficial. Sua formação deverá ser acrescida de discussões filosóficas e históricas pertinentes. Desenvolver, no professor, o hábito de buscar, sempre que possível, os subsídios na literatura especializada, bem como a visão de Ciência como um processo, que se desenvolve inserido num contexto sócio-histórico-cultural, são os maiores desafios que se impõem neste momento.

No próximo capítulo são apresentadas algumas idéias para a formação inicial de professores de Ciências Biológicas que contemplam a inserção de uma reflexão epistemológica e a utilização da história da Biologia, aliada à participação em atividades coletivas para a produção de saberes durante o processo formativo.

5. PROPOSTAS BÁSICAS PARA A FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

5.1. Considerações iniciais

A formação de professores de Ciências Biológicas, sintonizada com as exigências contemporâneas, deverá estar centrada em fazer deles educadores e não técnicos de Ciências. Isso não significa desconsiderar a importância de oferecer um sólido conhecimento da disciplina, considerando que o domínio conceitual da área de atuação é condição necessária – mas não suficiente – para ser um bom profissional. Contudo, o que se observa é que, na maioria das universidades, os professores responsáveis pelas disciplinas de conteúdo científico mantêm, de alguma forma, a convicção de que basta propiciar domínio dos conhecimentos técnicos para preparar bons professores para a educação básica. Já os professores envolvidos com a formação pedagógica percebem a falta de visão clara e mais consciente dos conteúdos específicos, por parte dos licenciandos, que impede sua reelaboração pedagógica para torná-los disponíveis e adequados à aprendizagem de jovens adolescentes. Ou seja, o ensino de disciplinas de psicologia, sociologia, metodologia, didática, legislação e práticas pedagógicas não se encaixam sobre aquela base científica construída na outra instância acadêmica (MALDANER e SCHNETZLER, 1998).

Essa separação entre disciplinas específicas e disciplinas pedagógicas dificulta que se pense os cursos de formação de professores como um todo. Por outro lado, essa separação contribui para que, como afirma Fourez (2003), os

estudantes, muitas vezes, tenham a impressão de que se quer obrigá-los a ver o mundo com os olhos de cientistas, e isso os torna desinteressados pelas carreiras científicas. O que teria sentido para eles, diz o autor, é um ensino de Ciências que os ajudasse a compreender seu mundo. No entanto, ressalva que essa compreensão de seu mundo, em absoluto, significa permanecer no seu pequeno universo. Os estudantes esperam que os modelos científicos que são obrigados a estudar lhes permitam compreender aquilo que diz respeito ao seu cotidiano cidadão, inserido numa realidade global, e não aquilo que atende aos interesses da comunidade dos cientistas ou ao mundo industrial.

Diante da complexidade do tema, acredito que, se na formação inicial dos professores estiverem presentes discussões sobre Epistemologia e História da Ciência, poderá haver subsídios necessários para uma educação científica que terá sentido para os estudantes.

5.2. Formação em Epistemologia e História da Ciência

O grande desafio que se impõe é como inserir essa formação em Epistemologia e em História da Ciência na atual estrutura curricular de um curso. A proposta que apresento a seguir busca refletir sobre a real possibilidade de se inserir essa formação no curso de Ciências Biológicas da URI-Campus de Santo Ângelo. Proponho essa reflexão a partir de uma realidade que conheço e pela qual me sinto responsável, em parte, considerando minha qualificação e atuação em ambos os campos: o das disciplinas específicas e o das disciplinas pedagógicas.

Conforme as grades curriculares do curso de Ciências Biológicas da URI (anexos 4 e 5), o primeiro contato com as disciplinas voltadas para a formação profissional que iniciava no quarto semestre, a partir de 2004, é antecipado para o primeiro semestre. São 16 disciplinas ao todo, em torno de um terço da carga horária total do curso, incluindo os estágios supervisionados. Diferentemente de muitas outras universidades, as disciplinas pedagógicas não são todas ministradas por professores oriundos do Departamento de Ciências Humanas, mas a grande

maioria são professores do Departamento de Ciências Biológicas. Neste departamento, quem ministra as disciplinas pedagógicas é um profissional licenciado e que tem alguns anos de experiência como professor na educação básica. Os bacharéis atuam apenas nas disciplinas específicas.

No currículo anterior, havia a disciplina Introdução à Filosofia da Ciência, com uma carga horária de 60 horas. Essa disciplina poderia ser adequada para o desenvolvimento de conteúdos relacionados à natureza do conhecimento científico no currículo do curso, como referem Acevedo *et al.* (2005). Porém, no currículo atual, ela foi substituída por Filosofia da Educação, com apenas 30 horas, dificultando essa tarefa.

Diante dessa realidade, como pretender que, ao longo de sua formação profissional, o estudante reflita sobre a natureza do conhecimento científico? Por outro lado, como pretender que a atuação do futuro professor venha a ser inovadora se a sua vivência como estudante é inadequada?

Um caminho que se delineia é uma das formas apresentadas por Bastos (1998), isto é, a utilização da reflexão epistemológica e da História da Ciência, como fonte de inspiração para a definição de conteúdos e para a proposição de estratégias de ensino. Não se pode esquecer, contudo, que, assim como os conteúdos científicos devem passar por um processo de tradução para converter-se em conhecimento escolar, será necessário reelaborar adequadamente os conteúdos referentes à natureza da Ciência antes de incorporá-los às aulas, como alertam Acevedo *et al.* (2005).

Igualmente, se a História da Ciência for apresentada apenas como uma seqüência linear de fatos marcantes para a construção do conhecimento científico em questão, ou se os episódios históricos forem apresentados de forma anedótica, também não se atingirá o objetivo proposto. Como adverte Brush (1974, p. 1164), “*o modo como os cientistas se comportam (de acordo com historiadores) poderia não ser bom modelo para os estudantes*”. Em vista disso, argumento que, para a utilização de relatos históricos no ensino, é mister que se realize anteriormente uma análise epistemológica do conteúdo expresso.

Por outro lado, sabe-se que, juntamente com a desconsideração das idéias dos estudantes, a concepção absolutista sobre a Ciência é um dos principais obstáculos à implementação de uma perspectiva didática inovadora (PORLÁN; RIVERO, 1998). Essa visão dogmática de Ciência também dificulta a adequada formação de professores. Segundo Fourez (2003), essa formação deveria, para atender a atual situação mundial:

i. Formar cidadãos que participem inteligentemente em debates políticos sobre temas fortemente impregnados de questões científicas, como a eutanásia, a política energética, a atitude frente aos drogados, entre outros...

ii. Visar, sobretudo, à formação, à inserção e à capacidade criativa do cidadão na sociedade, isto é, dotar o indivíduo de capacidade para utilizar os saberes das disciplinas a fim de enfrentar com sucesso as situações da existência;

iii. Indicar para os professores que a visão dos cientistas não é necessariamente um fim em si, mas uma mediação para melhor decodificar o mundo e dele participar;

iv. O sujeito da alfabetização científica não deverá ser o indivíduo isolado, mas o grupo.

Para que a alfabetização científica e tecnológica do cidadão, referida por Fourez (2003), ocorra, diversos argumentos têm sido utilizados para justificar a importância da inserção de discussões sobre a natureza da Ciência nos cursos de Ciências, entre eles os utilitários, democráticos, culturais, axiológicos e os relacionados com o ensino-aprendizagem de conceitos científicos (ACEVEDO *et al.*, 2005). No entanto, Smith e Scharmann (1999) advertem que o objetivo não deverá ser o de centrar-se na filosofia e na sociologia da Ciência como se fosse formar especialistas nesse campo do conhecimento, mas ajudar os estudantes a compreender melhor como funcionam a Ciência e a Tecnologia contemporâneas, pois:

Uma educação tecnocientífica que permita aos indivíduos conhecer os processos e lidar com os artefatos do mundo que os rodeia não formará realmente cidadãos capazes de participar democraticamente se não integrar, além dos conhecimentos para analisar a realidade e as habilidades para nela agir, estratégias para o desenvolvimento de habilidades e atitudes participativas e abertas ao diálogo, à negociação e a tomada de decisões em relação aos problemas associados ao desenvolvimento científico e tecnológico (MARTÍN; OSÓRIO, 2003, p. 175).

Nesse sentido, cabe ressaltar que, numa recente investigação com estudantes universitários, Sadler e Zeidler (2004) constataram que considerações morais, sentimentos e emoções têm grande repercussão nas decisões que são tomadas em questões relacionadas com a engenharia genética. Além disso, destacam outros fatores de influência como a falta de informação sobre o tema proposto, experiências pessoais, crenças religiosas, impacto familiar e cultura popular. Em vista disso, os autores advertem que a compreensão de elementos básicos da natureza da atividade científica é uma condição necessária para se tomar uma decisão mais adequada em relação às questões tecnocientíficas mais complexas, mas, de modo algum se constituem no único aspecto a ser considerado.

A importância atribuída aos valores, às emoções, aos sentimentos e às diversas crenças – culturais, sociais e políticas – contrapõe-se ao que é postulado pelo positivismo lógico. Essa filosofia da Ciência, conforme já comentei anteriormente, está muito presente em inúmeros dos livros-texto de Ciências e no pensamento de muitos dos professores e é ainda predominante no ensino de Ciências. Logo, é quase impossível educar para a participação cidadã com a visão de Ciência que considera que o conhecimento científico se constrói a partir da objetividade e da racionalidade obtida unicamente de fatos empíricos, sem influência do contexto sócio-histórico-cultural no qual o conhecimento é gerado. Decorre disso a necessidade de elaborar um programa de estudo da natureza da Ciência que permita superar a idéia positivista e que justifique a intervenção dos fatores não epistêmicos na construção do conhecimento científico e na resolução das controvérsias tecnocientíficas (ACEVEDO *et al.*, 2005).

A partir desse contexto, surge a proposta de que se inicie o processo de reflexão epistemológica no curso de Ciências Biológicas, envolvendo os profissionais que atuam nas disciplinas pedagógicas, independentemente da sua origem departamental. Tendo presente a sugestão de Cachapuz e Paixão (2002),

inicialmente se deverá trabalhar apenas com os professores mais interessados. Para que isso se concretize, cabe à organização institucional prever a formação desses professores, incluindo na sua jornada de trabalho tempo e espaço para atividades coletivas dos docentes do curso, estudos e investigações sobre as questões referentes à aprendizagem dos professores em formação e discussões de cunho epistemológico. Partindo das concepções epistemológicas prévias desses formadores, deverá ser iniciada a discussão problematizando o conceito de método científico por meio de algumas análises de relatos históricos importantes para a Biologia (por exemplo, a evolução do conhecimento sobre a Circulação Sanguínea ou sobre as Leis de Mendel, a história da proposição da Dupla Hélice ou da teoria Sintética da Evolução). Para subsidiar a análise, deverão ser estudados alguns epistemólogos, particularmente Ludwik Fleck. As razões da opção por esse epistemólogo já foram expostas em capítulos anteriores.

No início, é provável que se alcance apenas uma mudança pequena, porém não desprezível, em direção a uma concepção adequada de Ciência. Somente após esses primeiros resultados, é que se poderá iniciar um trabalho paralelo e semelhante com os estudantes da licenciatura. O espaço que surge como mais adequado é o das disciplinas de Laboratório de Ensino de Ciências Naturais (um conjunto de 4 disciplinas de 30 horas cada uma, desenvolvidas do segundo ao quinto semestres do curso). Harres *et al.* (2005) relatam que uma experiência semelhante com estudantes de graduação está sendo implementada no Centro Universitário da Fundação Vale do Taquari de Educação e Desenvolvimento Social (UNIVATES), em Lajeado, no Rio Grande do Sul, com resultados parciais bastante satisfatórios.

El-Hani, Tavares e Rocha (2004) apresentam uma proposta para o ensino de História e Filosofia da Ciência através de um estudo de intervenção, realizado no curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, da Universidade Federal da Bahia (UFBA), envolvendo um professor-investigador e 17 estudantes. A proposta de ensino foi elaborada e testada na disciplina de **Evolução do Pensamento Científico** que aborda conteúdos de História e Filosofia das Ciências, com ênfase sobre a História e Filosofia da Biologia. A metodologia utilizada baseia-se em discussões de textos lidos de antemão pelos estudantes e exposições dialogadas. Segundo os autores, o programa da disciplina é dividido em seis módulos, que têm

início com a discussão de fontes primárias, incluindo textos de Lamarck, Darwin, Wallace, Haeckel, Dobzhansky, Gould, entre outros. Após a análise desses trabalhos científicos originais, artigos de historiadores das Ciências são discutidos, visando à contextualização histórica das fontes primárias examinadas, para auxiliar na identificação de questões filosóficas/epistemológicas relacionadas aos episódios históricos discutidos.

Os resultados obtidos indicam que, apesar da amostra ter sido pequena – apenas 8 alunos participaram das duas fases –, houve uma evolução das respostas de todos os estudantes ao questionário utilizado como instrumento de coleta dos dados no começo e no final da disciplina. Os autores pretendem modificar a proposta a partir dos resultados obtidos, adaptando-a para a formação de professores.

A introdução da História da Ciência, como fonte de inspiração para a definição de conteúdos e para a proposição de estratégias de ensino, sugerida por Bastos (1998) e denominada por Matthews (1994) *integrated approach* (abordagem integrada) poderá ser uma grande aliada para desenvolver uma compreensão da natureza da Ciência que se acredita adequada. No entanto, não se constitui num empreendimento tão simples como possa parecer num primeiro momento.

Inicialmente, é preciso considerar que há ainda um hiato entre professores de Ciências e historiadores de Ciências. Utilizando as categorias epistemológicas de Fleck (1986a), pode-se afirmar que esses constituem coletivos de pensamentos muito diferentes. Para que se consiga aproximar esses coletivos, é preciso buscar algumas formas de circulação intercoletiva de idéias. Porém, como pondera Holton (2003), os poucos milhares de profissionais mundiais que são historiadores de Ciências fazem publicações em jornais restritos à sua categoria profissional, aos quais, raramente, têm acesso os educadores em Ciências. O autor considera os dois grupos profissionais como culturas diferentes, mas que necessitam, urgentemente, integrar seus conhecimentos, para que ambos possam continuar a produzir conhecimentos relevantes.

Penso que as cinco oportunidades sugeridas por Holton (2003) para promover a aproximação entre responsáveis pela educação científica e historiadores

da Ciência devem ser levadas em consideração quando se deseja fazer uso da História da Ciência no ensino. Passarei a seguir a comentar essas aproximações referidas por Holton (2003), adequando-as para a realidade do curso de Ciências Biológicas.

A primeira consiste em “*jogar fora muitos de nossos olhares*”. Cada coletivo de pensamento – o dos educadores e o dos historiadores – vê a Ciência através de seu estilo de pensamento. Se não ocorrerem complicações, esses estilos tendem a permanecer separados. Talvez uma das formas de iniciar uma mudança seja através de uma integração com o intuito de trocar experiências entre coletivos, como a realização de encontros periódicos entre o coletivo de historiadores das Ciências e o de pesquisadores em educação em Ciências.

Não é possível provocar mudanças, sem antes problematizar concepções prévias. Não se reconstrói conhecimento novo, sem antes destruir os conceitos prévios que impedem que se veja de outra forma (GIORDAN, 2004⁸; COLOM, 2004). Uma vez ocorrida a problematização, a segunda oportunidade envolverá a focalização no trabalho e a divulgação das experiências de pesquisadores ativos e interessados na mediação entre os dois coletivos de pensamento e que poderiam servir como multiplicadores entre seus pares. Por exemplo, os educadores poderiam expor aos historiadores das Ciências as dificuldades que encontram em relação à contextualização dos conhecimentos científicos que precisam transpor didaticamente para o conhecimento escolar, enquanto os historiadores auxiliariam na exposição dos aspectos históricos relevantes para a compreensão do conhecimento produzido e de sua aplicação.

A publicação desses trabalhos em periódicos científicos da área e sua apresentação em eventos científicos é a terceira oportunidade vislumbrada por Holton (2003), como forma de aproximar as pessoas que se preocupam com a educação científica àquelas que relatam a história da construção dos fatos científicos. No contexto brasileiro, temos essa oportunidade em vários eventos científicos que têm como um dos eixos temáticos para a apresentação de trabalhos a História e Filosofia da Ciência. Igualmente, em muitos programas de pós-

⁸ GIORDAN, André. Comunicação pessoal no Seminário “Aprender!” realizado em 21 de setembro de 2004, no Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da UFSC, em Florianópolis-SC.

graduação, destinados à preparação de docentes que atuarão na formação inicial e continuada de professores de Ciências, uma das linhas de pesquisa está relacionada à Epistemologia, à História e à Filosofia da Ciência. Assim, em eventos que congregam os pesquisadores da área, como, por exemplo, o Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia (EPEB) e o Encontro Nacional de Pesquisadores em Ensino de Ciências (ENPEC), entre outros, há sempre um considerável número de trabalhos científicos dentro desse eixo temático. No âmbito dos países do Cone Sul, temos os encontros da Associação de Filosofia e de História da Ciência (AFHIC), que têm, como objetivo, reunir pesquisadores de História da Ciência da Argentina, Uruguai, Chile e Brasil, para apresentação de trabalhos e intercâmbios de experiências. No próximo encontro, que será realizado em maio de 2006, em Florianópolis, haverá uma sessão especial, denominada **Ensino e Educação para a Ciência**, com o objetivo de divulgar estudos que tratem da relevância da História da Ciência e da Epistemologia no ensino de Ciências.

Uma quarta oportunidade que se criou, mas que não tem sido muito observada, é a ênfase que os projetos oficiais de muitos países têm dado à apresentação dos aspectos sócio-culturais da Ciência e à inclusão da História da Ciência no ensino científico. Holton (2003) cita as Instituições *American Association for the Advancement of Science (AAAS)* e a *National Academy of Science*, que destacam, em documentos oficiais, a importância que esses aspectos históricos e epistemológicos devem ter na educação científica da população americana. Nesse aspecto, Holton (2003) e Matthews (1995) concordam quando ambos apontam que a solução para um ensino de qualidade encontra-se na inclusão da História, da Filosofia e da Sociologia, ou seja, um ensino mais reflexivo e contextualizado, de acordo com a AAAS.

No Brasil, também se encontra essa preocupação no texto dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) de Biologia, pois esse texto expressa que:

Elementos da história e da filosofia da Biologia tornam possível aos alunos a compreensão de que há uma ampla rede de relações entre a produção científica e o contexto social, econômico e político. É possível verificar que a formulação, o sucesso ou o fracasso das diferentes teorias científicas estão associados a seu momento histórico (BRASIL, 1999, p. 219).

Da mesma forma, as Diretrizes Curriculares para os cursos de Ciências Biológicas, elaboradas recentemente para dar conta da perspectiva mais humanista que pretendem introduzir nesses cursos de graduação, estabelecem, na definição dos conteúdos curriculares básicos, um eixo de fundamentos filosóficos e sociais, envolvendo “*conhecimentos básicos de História, Filosofia e Metodologia da Ciência, Sociologia e Antropologia, para dar suporte à sua atuação profissional na sociedade, com a consciência de seu papel na formação de cidadãos*” (BRASIL, 2001, p. 6, grifo meu).

Finalmente, na quinta oportunidade, chegará a vez de cada um “*arregaçar as mangas e produzir o material para os currículos da universidade e escola básica*” (HOLTON, 2003, p. 606), para que se atinja a melhoria do ensino de Ciências através da cooperação entre a educação científica e a História da Ciência. Nesse aspecto, entendo que há um longo caminho a percorrer, particularmente na área da Biologia. São poucos os trabalhos produzidos, publicados e tornados acessíveis aos professores que desejam modificar sua prática e que atendem ao que foi exposto. O capítulo 2 da presente tese, bem como os trabalhos desenvolvidos por Slongo (1996), Justina e Ferrari (2000), Delizoicov, Nadir C. (2002), Leite (2004) e Scheid; Ferrari e Delizoicov (2005) são alguns materiais que poderão ser úteis aos professores de Biologia que se engajarem nesse empreendimento de contextualizar historicamente o ensino de Biologia.

5.3. Participação em atividades coletivas para a produção de saberes

Assim como o sujeito da alfabetização científica não deve ser o indivíduo isolado, mas o grupo (FOUREZ, 2003), a formação de professores também não se faz isoladamente, de modo individualizado. Segundo as idéias de Fleck, a produção de conhecimento não é um processo individual, mas uma atividade social, e os pensamentos transitam livremente de um indivíduo para outro dentro de uma comunidade, sofrendo modificações até se transformarem no pensamento do coletivo. A partir disso, proponho-me a refletir sobre a contribuição que a Sociedade

Brasileira de Ensino de Biologia poderá oferecer à melhoria do ensino de Ciências Biológicas.

Conforme os artigos 1 e 2 do Estatuto (1997), a Sociedade Brasileira de Ensino de Biologia (SBENBIO) é uma sociedade civil de caráter científico e cultural, sem fins lucrativos, criada em 1997, e que tem por finalidade promover o desenvolvimento do ensino de Biologia e da pesquisa em ensino de Biologia entre profissionais deste campo de conhecimento. Entre os associados, encontram-se perfis bem variados: são professores da educação básica e do ensino superior, graduandos de Biologia e pesquisadores da área de ensino de Biologia e Ciências, incluindo-se docentes e estudantes de graduação e pós-graduação. A SBENBIO nasceu durante o VI Encontro **Perspectivas do Ensino de Biologia**” (EPEB), organizado pela Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, em julho de 1997. Além de colaborar na organização do EPEB, a SBENBIO promoveu um Evento Internacional, o Simpósio Latino-Americano da *Internacional Organization for Science and Technology Education* (IOSTE), e realizou, em julho de 2005, o I Encontro Nacional de Ensino de Biologia. As sessões regionais têm organizado Encontros Regionais de Ensino de Biologia (ERE BIO), e os resultados de todos esses eventos estão publicados em Anais. Pode-se dizer que todos esses eventos, constituem-se num espaço de reflexão e discussão dos profissionais envolvidos no ensino de Biologia, bem como em uma nova modalidade de atualização de professores.

É fundamental, no processo de formação de professores, promover atividades de aprendizagem colaborativa e de interação, de comunicação entre professores em formação e deles com os formadores. Os eventos da SBENBIO parecem se constituir em práticas sistemáticas que poderão facilitar esse processo. Além da comunicação formal de relatos de experiências e pesquisas na área, cujo valor é inestimável, é preciso considerar a riqueza das trocas informais que se estabelecem entre os participantes desses eventos. Os diferentes estilos de pensamento ou, apenas, diferentes matizes de estilos de pensamento (FLECK, 1986a) dos participantes desses eventos, convergem para um ponto em comum: a melhoria do ensino de Biologia.

No entanto, essa instância de cooperação na formação de professores apresenta complicadores que não podem ser desconsiderados. O primeiro complicador que surge é a grande distância geográfica entre os locais onde os eventos se realizam e a sede de muitas universidades que têm cursos de licenciatura em Biologia. Geralmente, os eventos são realizados no eixo Rio-São Paulo, e a participação demanda um investimento significativo de tempo e de recursos financeiros. A URI-Campus de Santo Ângelo, assim como muitas outras Instituições de Ensino Superiores (IES) comunitárias, tem as mensalidades pagas pelos próprios estudantes. Sendo assim, poucos têm condições para investir mais recursos em sua formação inicial. Por outro lado, o subsídio que a universidade oferece para a participação em eventos tem diminuído a cada ano, considerando-se a atual conjuntura econômica que afeta a viabilidade financeira da instituição, localizada numa região de economia baseada na agricultura familiar. Diante dessa realidade, urge que se pense em outras possibilidades para a questão posta.

Inicialmente, penso ser oportuno colocar que dificuldades não são impossibilidades e que, mesmo diante dos elementos complicadores, o curso de Ciências Biológicas da URI tem estado presente em muitos eventos nacionais e internacionais (particularmente nos países vizinhos como a Argentina e o Uruguai), com a participação considerável de professores e, embora em pequeno número, mas não menos importante, com a participação de estudantes. Para viabilizar a participação, muitas vezes organizam-se excursões em conjunto com a universidade vizinha, a Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), o que sempre resulta numa importante troca de experiências.

Uma alternativa que vislumbro, para responder ao problema referido anteriormente, é a criação de espaços de divulgação e de discussão dos conhecimentos construídos através da participação nos eventos. Uma forma de concretizar isso poderia ser a organização de eventos similares aos da SBENBIO no âmbito micro-regional. Além de facilitar a participação, o número menor de participantes propiciaria melhores condições de interação entre os “multiplicadores” constituídos pelos participantes dos eventos regionais ou nacionais. As IES poderiam se unir e, num sistema de rodízio, organizar esses eventos anualmente. Para que mais pessoas tenham possibilidade de participar, esses eventos deveriam estar em consonância com a política de formação continuada das Coordenadorias

Regionais de Educação. Além disso, as IES precisarão criar dispositivos de organização curricular e institucional que favoreçam a realização desses eventos, empregando, inclusive, recursos da tecnologia da informação que possibilitem a convivência interativa dentro da instituição e entre esta e o ambiente educacional. Exemplares dos Anais ou Atas dos trabalhos apresentados nesses eventos poderão ser distribuídos às escolas de educação básica, se houver uma parceria entre a instituição promotora e as Secretarias de Educação do Estado e dos Municípios. Desse modo, os professores que não têm possibilidade de participar dos eventos poderiam ter, nessas publicações, uma importante fonte de consulta, de reflexão e de intercâmbio com os autores dos trabalhos. Isso poderia se constituir em um valioso instrumento para a viabilização da formação continuada desses educadores.

O interesse em disseminar, inclusive ao professor que atua na escola básica, os conhecimentos produzidos em relação ao ensino-aprendizagem de Ciências e Biologia encontra respaldo na constatação de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002). Segundo esses autores, em relação aos objetos de investigação e à qualidade das pesquisas na área do ensino de Ciências, a produção brasileira é comparável à dos países mais avançados. A disseminação dos resultados entre os pares é considerada satisfatória, dado o grande número de congressos, de revistas para publicação e de referências mútuas utilizadas. No entanto, o que preocupa é a incipiente apropriação, reconstrução e debate sistemático dos resultados de pesquisa na sala de aula e na prática docente que, nos três níveis de ensino, deixa muito a desejar.

Esse hiato entre grupos de pesquisadores e coletivos de professores dificulta a almejada melhoria no ensino de Biologia e constitui-se num importante desafio para todos os envolvidos com a formação de professores desta área.

Tenho presente que, além da contribuição da SBENBIO, outras Organizações que também promovem Encontros, Seminários e Congressos, favorecem à formação de professores da área de Ciências. Entre elas, não se pode deixar de referir as Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) e da Sociedade Brasileira de Genética (SBG) que, além de serem imprescindíveis para a troca de saberes entre especialistas e pesquisadores da área específica, nos últimos anos têm dado atenção também ao ensino. Durante o

Congresso Nacional de Genética da SBG, existe, inclusive, um espaço para apresentação de pesquisas envolvendo o ensino de Genética e uma atividade paralela ao congresso destinada, especialmente, aos professores de educação básica. O evento já foi denominado de **Genética na Praça**, e quando ocorreu em Florianópolis, de **Genética na Praia**. Os professores da rede de ensino dos municípios próximos à sede do congresso participam ativamente e em grande número. Há também a participação de estudantes de licenciatura que buscam incrementar sua formação pedagógica através das atividades trabalhadas e sugeridas nas oficinas do evento paralelo, para o qual, geralmente, a inscrição é gratuita. Além disso, a sociedade criou, recentemente, uma comissão de Ensino de Genética com a incumbência de viabilizar a criação de uma revista eletrônica sobre Ensino de Genética.

Participar dos mais diversos eventos da área dá ao estudante a possibilidade de conhecer as mais recentes produções – científicas, tecnológicas ou ligadas ao ensino de conteúdos científicos relevantes – bem como, de refletir sobre a contribuição dessas para o progresso da humanidade e para melhoria da qualidade de vida. Se lhe for oportunizado um aporte epistemológico, durante sua formação inicial, o estudante poderá compreender a Ciência não apenas como produto de um empreendimento para descobrir fatos e estabelecer conceitos gerais, mas como processo e como instituição (KRASILCHIK; MARANDINO, 2004). Assim, poderá entender que os efeitos da Ciência e da tecnologia contemporâneas oferecem vantagens, mas podem causar problemas, precisando, por isso, serem compreendidos seus significados no momento atual. Os problemas éticos e sociais que têm surgido, nas últimas décadas, necessitam ser relacionados às visões de mundo que fundamentam os processos de construção dos conhecimentos e orientam a utilização dos seus resultados. Decorre daí a importância de se estabelecer uma conexão entre a Biologia e a Ética, como dissertarei a seguir.

5.4. Conexão entre Biologia e Ética

A produção e a utilização crescente de novas biotecnologias vem estabelecendo sérios desafios de natureza epistemológica e ética ao campo do conhecimento biológico. Aliados a isso, os movimentos ambientalistas contemporâneos têm exigido a ação de técnicos que controlem indústrias e empresas na busca de um desenvolvimento sustentável. Como afirma Ayres (2005), para entender e realizar as transformações que vêm ocorrendo na natureza, o biólogo precisa, além dos conhecimentos advindos da Biologia *stricto sensu*, de conhecimentos de bioética, uma novíssima área que precisa integrar os currículos de sua formação. Seus estudos, tratamentos e soluções propostas devem considerar os princípios da autonomia e da beneficência nas decisões e nas operações da área (CLOTET, 2000).

Isso tudo repercute sobre a formação de professores de Biologia que precisa atender, agora, um aspecto que, se para a sociedade não é algo inédito, na prática docente surge como algo novo em termos de magnitude e complexidade: a busca de relações entre Ciência e Ética (KAWASAKI, 2005). Para que isso ocorra, tanto na escola quanto na universidade, não deverão ser enfocados apenas os conceitos científicos fundamentais para entender as novas biotecnologias, mas também discutir os aspectos éticos a eles relacionados.

Atualmente, observa-se que a preocupação com as questões éticas e morais decorrentes da utilização do conhecimento científico, principalmente a partir do advento da Biologia Molecular, alterou também a relação existente entre os cientistas e a sociedade. A biotecnologia do DNA recombinante disponibilizou aos cientistas a possibilidade de produzir alterações no genoma dos seres vivos. Muitas dessas alterações representam oportunidades para se tratar doenças genéticas pela substituição de genes defeituosos por genes normais. No entanto, pouco ainda se sabe sobre os limites que se pode impor a essa biotecnologia. Há, ainda, entre os próprios cientistas, algumas dúvidas em relação ao domínio sobre a biotecnologia e Suzuki (1985) alerta que, se não forem confrontadas as limitações das introspecções

e dos impactos da Ciência e da Tecnologia de maneira mais profunda, nunca se conquistará a esperança de controlar essa maneira poderosa de saber.

A primeira discussão formal sobre a questão aconteceu em fevereiro de 1975, no Centro de Convenções Asilomar, localizado em *Pacific Grove*, Califórnia, reunindo 140 cientistas norte-americanos e estrangeiros. Segundo Goldim (2005), essa reunião científica decorreu da proposta de moratória nas pesquisas que envolvessem manipulação genética, feita em 1974, por um grupo de cientistas no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT).

Essa reunião parece ter sido o pontapé inicial para a tomada de medidas mais concretas em relação ao assunto. Goodfield (1998) afirma que, mais tarde, ainda no mesmo ano, realizou-se a *Gordon Conference*, nos Estados Unidos, durante a qual foram descritas pela primeira vez as experiências de recombinação. Maxine Singer, chefe do Departamento de Ácido Nucléico e Enzimas, do Laboratório de Bioquímica do *National Cancer Institute*, juntamente com Dieter Soll, da Universidade de Yale, foram os presidentes dessa conferência. Ao final dela, várias pessoas manifestaram sua preocupação em relação aos problemas éticos e morais que surgiriam em decorrência da aplicação da biotecnologia do DNA recombinante. Inicialmente, os presidentes decidiram por reservar um tempo de quinze minutos, na manhã da última sessão, para comentários e incitaram os cientistas a discutir o assunto nos intervalos. Na última sessão, como o tempo destinado à discussão era muito pequeno, os participantes da conferência decidiram, por votação, que uma carta seria enviada à Academia Nacional de Ciências e publicada na revista *Science* (BERG *et al.*, 1975).

A Academia Nacional de Ciências reagiu rapidamente, antes mesmo da publicação da carta na *Science*, e convocou Maxine Singer a Washington, solicitando que indicasse um cientista para chefiar a comissão que iria estudar o problema. Paul Berg foi o indicado, pois “...*tinha perfeita consciência das implicações do trabalho, já que a maioria das técnicas haviam sido criadas em Stanford, como também era uma pessoa de extraordinária idoneidade moral, tendo conceito dos mais elevados na comunidade das Ciências Biológicas*” (GOODFIELD, 1998, p. 97). Para integrar a comissão, foram escolhidos, por Berg, onze cientistas de renome, entre eles, James Watson, Norton Zinder, Stanley Cohen, David Baltimore, Daniel

Nathans e Sherman Weisman que, assim como ele, haviam participado da *Gordon Conference*.

Os resultados da discussão dessa comissão foram publicados em 24 de julho de 1974, também na revista *Science*, como a **Carta de Berg**. Nela era recomendado que, enquanto não fossem devidamente avaliados os riscos em potencial das moléculas de DNA recombinante, e até que pudessem ser criados métodos adequados para prevenir sua propagação, os cientistas de todo mundo deviam abandonar, voluntariamente, três tipos de experimentos: i) a formação de plasmídios multiplicáveis que tornassem cepas bacterianas resistentes a antibióticos; ii) ou introduzissem nelas venenos bacterianos; iii) e a junção do DNA de vírus presumivelmente causadores de câncer e plasmídios bacterianos (GOODFIELD, 1998; BERG, 2005).

Mesmo após todas essas discussões, como afirma Goodfield (1998), não há concordância entre os cientistas – nem mesmo entre os que participaram da Conferência de Asilomar. Poucos são os que aceitam dedicar um pouco de seu tempo para divulgar o que estão pesquisando, de modo que a sociedade tenha uma melhor compreensão da Ciência e dos problemas decorrentes da própria atividade científica e, por vezes, criados pelos próprios envolvidos na atividade científica.

Em 1975, durante a Conferência de Asilomar, discutiu-se a necessidade de impor normas de segurança, para que o DNA recombinante não escapasse do controle dos pesquisadores, e de definir quem deveria ter a responsabilidade de supervisionar o cumprimento dessas normas. Houve tentativas, também, de convencer os cientistas da importância do esclarecimento ao público sobre as atividades da Ciência. Uma das propostas discutidas previa uma moratória, para que os experimentos fossem desenvolvidos somente quando houvesse condições de conhecer, com mais profundidade, as possibilidades e os riscos decorrentes da manipulação dessa tecnologia. A idéia era de que se aguardasse um pouco, antes de aventurar-se nas pesquisas, realizando estudos sobre a biologia dos organismos vivos utilizados pela engenharia genética, fazendo uma avaliação com mais seriedade para verificar se os benefícios compensam os riscos e investindo num controle de segurança mais rigoroso. Por tudo isso, Goldim (2005) considera a Conferência de Asilomar como um marco na história da ética aplicada à pesquisa.

Três décadas mais tarde, podemos dizer que as preocupações continuam as mesmas e cada vez mais justificadas. Fala-se, hoje, em organismos geneticamente modificados, em clonagem reprodutiva, clonagem terapêutica e terapia celular com células-tronco, entre outros assuntos polêmicos. Não é apenas a comunidade científica que comenta esses assuntos, mas toda a sociedade. Há, inclusive, fortes pressões do poder econômico, além de argumentos éticos, morais e religiosos interferindo na continuação ou na suspensão das pesquisas. Em várias instâncias, discute-se a possibilidade – ou necessidade - de impor limites éticos à pesquisa científica.

De acordo com uma pesquisa realizada por Massarani, Magalhães e Moreira (2003), a Genética e suas aplicações são, hoje, um dos principais assuntos na cobertura de Ciência na mídia. No entanto, uma das principais conclusões, extraídas dos dados coletados pelos autores, é a observação de que a atitude presente nas matérias dos grandes jornais brasileiros analisados ressalta, fundamentalmente, aspectos positivos, associados à Genética contemporânea e às suas aplicações. Questões éticas, morais e de riscos têm pouco destaque e, em geral, surgem associadas a áreas específicas como a transgenia em alimentos e a clonagem de seres humanos. Quando são mencionados riscos relacionados às novas tecnologias e aplicações mal sucedidas, isso é feito de forma superficial e sem uma reflexão mais aprofundada, afirmam os autores.

Mais recentemente, nós brasileiros vivenciamos a discussão em torno da aprovação da Lei de Biossegurança – Lei 11.105, de 24 de março de 2005. Ouvem-se, freqüentemente, posicionamentos que denotam uma considerável falta de domínio do conteúdo básico que possibilita o entendimento dessas novas tecnologias. A mídia, pela forma como divulga os acontecimentos, cria a expectativa de que todos os problemas da humanidade estarão resolvidos, principalmente os da vida mais longa e livre de doenças. No entanto, a certeza que se tem é que todo esse avanço do conhecimento genético poderá ajudar a entender melhor e mais rapidamente como funciona o ser humano. Poderá permitir que se substitua um gene defeituoso por outro funcionante, ou que se introduza, dentro da célula, a proteína que o gene codifica, e isso é maravilhoso. No entanto, o problema é: quem terá acesso a essa tecnologia? Num país como o nosso, onde parcela significativa da população não tem sequer saneamento básico e, por isso, sofre de doenças que

há muito já deveriam ter sido erradicadas, pensar essas tecnologias como forma de beneficiar a humanidade parece ser uma utopia, o que não deve ser um limitante para que esses estudos se realizem. É possível que, se os estudos forem limitados por esse tipo de pensamento, aprofundem-se os problemas, mesmo aqueles de solução aparentemente mais fácil, pelo distanciamento tecnológico estabelecido, que impedirá o uso dessas soluções.

A questão que se põe é que a aprovação do atual texto da Lei de Biossegurança Nacional não encerrou a discussão sobre a caracterização do início da vida. E, havendo vida, a partir de que momento se considerará a existência de um indivíduo a quem serão atribuídos direitos?

Existem dúvidas quanto à possibilidade de um controle social e ético sobre os conhecimentos científicos e os avanços tecnológicos em geral, mas Archer, Biscaia e Osswald (1996) alertam que a sociedade precisa participar das decisões sobre as tecnologias que lhe convêm. Essa participação poderá se dar em termos muito amplos, como, por exemplo, na votação em referendos, na avaliação da opinião pública por meio de enquetes e grupos de debate, bem como, na representação do cidadão em comitês consultivos ou de planejamento e, inclusive, na participação em atividades de protesto. No entanto, não é por ser majoritária que uma opinião é necessariamente verdadeira. Decorre disso a necessidade de instrumentalizar a sociedade para que, possuindo um nível cultural mais elevado, com as facilidades e a rapidez da informação e com a perspectiva democrática do poder, ela possa exercer seu direito nas decisões políticas que precisam ser tomadas.

Na preparação da sociedade para essa importante participação, é essencial que haja espaços onde se possa exercer essa atividade vital para a cidadania plena. Qualquer que seja a forma escolhida pela sociedade, ela deverá contemplar uma participação dos cidadãos leigos, um processo de aprendizado significativo, com a orientação de especialistas no assunto, uma avaliação do que se deve saber sobre determinada questão e uma divulgação satisfatória que contribua para uma alfabetização científica de um maior número de cidadãos (EINSIEDEL, 2003).

Além de alfabetizados cientificamente, é preciso que, como afirma Lemgruber (1998, p. 162), os cidadãos “... *debatam sobretudo os valores éticos, pois são eles*

que nos dão a base para julgar e optar por ideologias, crenças ou teorias, ao longo da vida”. Embora esses valores sejam uma construção histórica que vem sendo elaborada por seres humanos – e, por serem humanos, estão sujeitos a imperfeições – são a melhor maneira de que dispomos atualmente para defender uma convivência democrática.

O papel que cabe à Educação não é o de competir com a mídia, mas o de proporcionar, tanto na educação formal quanto na informal, os aportes necessários para que os cidadãos tenham condições de compreender as informações veiculadas por ela. As instituições educativas devem assumir os desafios postos por essa abordagem especial da Genética na atualidade e devem possibilitar a todos os indivíduos uma sólida formação e uma ampla informação, fornecendo-lhes fundamentos éticos, critérios e princípios, ajudando-os, dessa forma, a exercer plenamente sua cidadania.

Antes de sermos professores, temos, como cidadãos, o dever de considerar esses assuntos. Precisamos manter vigilância para que esse conhecimento seja aplicado de forma a contribuir na construção de uma sociedade onde o limite da Ciência seja o respeito à biodiversidade e à dignidade humana.

Nesses aspectos considerados aqui, a análise epistemológica da História da Ciência poderá contribuir, pois a compreensão da complexidade que envolve o processo de produção do conhecimento científico facilita a preparação para a cidadania. Ao preparar para a cidadania, auxilia na tomada de decisões, principalmente em relação a assuntos polêmicos como são, hoje, muitos daqueles ligados à Genética.

Um primeiro passo, para efetivar a conexão entre Biologia e Ética, é criar fóruns especiais para essa discussão, o que implica na busca de espaços para estudos e debates interdisciplinares, pois uma área sozinha não dá mais conta de todas as respostas. Lembrando que Levinson (2001) estimula colaboração entre os professores de Ciências e os das áreas humanas, penso que será necessária a aproximação da Biologia com a Filosofia, a Psicologia, o Direito, a Teologia, entre outras disciplinas.

Alguns temas, como a questão ambiental, a inserção da hipótese do criacionismo no currículo escolar e a utilização dos conhecimentos mais recentes relacionados à Genética – como, por exemplo, transgênicos e células-tronco - são propícios para iniciar esse intercâmbio colaborativo entre áreas. O início da aproximação poderia acontecer pela pesquisa, pela elaboração, pela aplicação e pela divulgação de atividades curriculares que permitissem aos estudantes desenvolver a consciência dos atuais problemas da humanidade.

Essas atividades curriculares podem ser produzidas nos Laboratórios de Ensino do Curso de Ciências Biológicas, envolvendo estudantes e professores do curso. Esses últimos seriam os responsáveis por criar formas de integração com outros cursos, objetivando a viabilização da interdisciplinaridade. Entre as formas de aproximação, destaco: i) Organização de mesas-redondas ou painéis sobre um assunto polêmico reunindo diversos especialistas de áreas e opiniões diversas; ii) Leitura e discussão de artigos de outras áreas sobre o assunto em pauta; iii) Realização de pesquisas sobre o entendimento que têm as pessoas de diferentes formações acadêmicas sobre um determinado assunto, análise e discussão desses resultados.

Enfim, são amplas e variadas as formas que podem ser adotadas com a finalidade de proporcionar uma integração entre diferentes áreas do conhecimento, mas com um ponto de convergência comum. Todas, certamente, demandarão muito envolvimento e ação. Urge reconhecer as implicações do conhecimento atual com seus limites e fraturas, que se constrói de maneira transdisciplinar, em que participam e se transformam reciprocamente personagens e cenário: homem, sociedade, conhecimento e cultura (ABREU JR, 1996). Porém, essas dificuldades só poderão ser superadas, se conseguirmos articular os professores das diferentes áreas do conhecimento na constituição de novas organizações curriculares.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após muitos anos, atuando como professora na educação básica e no ensino superior, neste último nível, especificamente, com a responsabilidade de participar na formação inicial de professores de Ciências Biológicas, deparei-me com muitas inquietações. Entre elas, a relacionada com a necessidade de contribuir, de forma satisfatória, para a melhoria da formação inicial de professores de Ciências Biológicas com minha atuação docente numa universidade comunitária, com pouco mais de uma década de existência e localizada no interior do Estado do Rio Grande do Sul. Ao ingressar no Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica na Universidade Federal de Santa Catarina, continuei um processo de reflexão e de busca que, embora tenha exigido muitas renúncias e gerado mais inquietações, está sendo muito gratificante por me proporcionar uma visão mais ampla do papel que me cabe como docente num curso que prepara professores para educar científica e tecnologicamente cidadãos em meio aos desafios do século XXI .

No atual contexto sócio-histórico-cultural, diante dos acelerados avanços na construção do conhecimento científico e da crescente disponibilização e utilização das tecnologias dele decorrentes, muitas delas ultrapassando os atuais limites éticos, é imprescindível que se (re)pense o que é fundamental para alcançar a educação científica adequada às exigências contemporâneas.

A racionalidade técnica derivada do positivismo, que ainda predomina em muitos cursos de licenciatura, já não consegue dar conta da complexidade do

mundo contemporâneo. Ciência e Tecnologia são vivenciadas pelas pessoas de modo automático e imediato. Apesar de se constituírem num conhecimento especializado – diferente e distante do senso comum – exercem poderosos impactos na vida cotidiana. A Genética é uma das áreas da Biologia que apresenta, a cada dia que passa, situações complexas que emergem do avanço do conhecimento científico e das suas aplicações tecnológicas. Nessa área, influências políticas, econômicas, morais e religiosas balizam muitas pesquisas, em meio a um cenário de incertezas e verdades provisórias. A participação do cidadão nas decisões que envolvem a aplicação ou não desses conhecimentos recentes torna-se indispensável, pois nem sempre está presente o objetivo de proporcionar o bem estar da humanidade. Depreende-se disso que o ato de aprender já não pode ser entendido como algo passivo, sendo necessário proporcionar aos estudantes a oportunidade de opinar sobre o processo de pesquisa e de construção do conhecimento científico. Nesse contexto, se acreditamos que o ensino de Biologia deva possibilitar uma educação científica, mais do que a formação de cientistas, é preciso rever os padrões atuais de formação dos professores.

As características de uma pessoa cientificamente educada incluem conhecimento sobre a natureza da Ciência e entendimento do conhecimento científico como coletivamente construído e historicamente situado. No entanto, não são essas as características encontradas na maioria dos estudantes dos cursos das áreas científicas, como demonstram as pesquisas comentadas nos capítulos 1 e 3, e também os dados obtidos com os estudantes sujeitos de minha pesquisa.

Na investigação realizada com 31 estudantes do sexto semestre de um curso de Ciências Biológicas, com o objetivo de investigar as concepções sobre natureza da Ciência presentes entre eles, parti do pressuposto que essa concepção terá repercussões na forma de ensinar, futuramente, temas mais polêmicos em Biologia como são os relacionados à Biologia Molecular. Essa área, que se caracteriza por transformações rápidas do conhecimento, com a presença de muitas incertezas, é apontada, atualmente, em muitas pesquisas, como sendo a mais problemática para a educação científica.

Os resultados apontam que há o predomínio de uma concepção absolutista, indutivista-empirista e ateórica, na qual a observação e a experimentação são

entendidas como atividades neutras, independentes de compromissos teóricos. Constatase uma visão da Ciência socialmente neutra e descontextualizada, além de elitista, na qual o conhecimento científico é visto como obra de gênios isolados, esquecendo-se a natureza cooperativa do trabalho científico. Essas concepções, dentre outras, caracterizam uma visão inadequada da natureza da Ciência.

Uma visão de Ciência adequada inclui o entendimento de que os cientistas constroem explicações com base em dados da observação, interpretados de acordo com sua formação, com o estado do conhecimento naquele momento. Não se pode considerar que o conhecimento científico é obtido exclusivamente com base nos dados da observação e da experiência – visão empirista - mas também não se pode pensar que ele é apenas baseado em teorias, em idéias, sem considerar dados obtidos a partir de observações e de experimentos – visão idealista.

Para que essa educação científica possa ocorrer, é necessário conhecer a história das explicações, das teorias, localizar os elementos que contribuíram para a instalação de um determinado modo de ver um fenômeno. Nesse sentido, a concepção de Ciência, sintonizada com a visão epistemológica de Ludwik Fleck, pode trazer importantes contribuições. Ao apresentar a contribuição do indivíduo na construção do conhecimento, Fleck (1986a) afirma que idéias prévias, cultural e historicamente formuladas, influenciam observações e experimentos e que o tripé que resume a natureza do conhecimento científico é: o dado empírico, o observador e o estado do conhecimento.

A concepção de Ciência que os professores têm depende, em boa medida, do que lhes foi ou é oferecido nos cursos de formação e é reforçada pelos materiais didáticos que eles utilizam. Se a natureza do conhecimento científico não for questionada, o que se irá ensinar é uma ideologia da Ciência que reforça e dogmatiza métodos e técnicas, dando à Ciência um perfil inadequado, que dificulta o acesso à informação necessária para embasar decisões conscientes e autônomas, características da cidadania que se deseja para todos.

É importante lembrar que não basta ter apenas professores bem qualificados, pois muitas outras causas contribuem para que haja uma preocupação em todo o nosso País com relação à qualidade da educação em Ciências. Porém, buscar as

melhores condições para garantir a formação de um profissional competente é o papel que nos cabe, enquanto responsáveis, em parte, pela formação de professores de Ciências e de Biologia que irão trabalhar a Biologia nas escolas. Precisamos reavaliar os currículos, as práticas pedagógicas, o tempo e os espaços da escola e da universidade, desenvolver o hábito de não ignorar ou, então, de não querer competir com a mídia, mas o de proporcionar aos alunos os aportes necessários para compreender as informações por ela veiculadas. Isso, certamente irá contribuir para a dinamicidade e a qualificação do processo de formação de professores e instrumentalizá-los-á de forma a atender aos desafios que a Genética, em especial, nos traz nesse novo milênio.

Para que isso possa se efetivar, uma formação em Epistemologia e História da Ciência deverá estar presente, pois fornecerá os subsídios que farão do professor um educador e não apenas um técnico em Ciências. Essa formação proporcionará as condições necessárias para que ocorra uma mudança de enfoque no ensino de Ciências. Em lugar de ser vista como um corpo de conhecimentos estabelecidos, a Ciência precisa passar a ser tratada como uma atividade humana, histórica e culturalmente situada. A primeira condição para que ocorra uma mudança na formação inicial dos estudantes é que nós, enquanto formadores, mudemos as concepções de Ciência e as práticas de formação que não se encontrem em sintonia com as exigências atuais.

São amplas e variadas as formas que poderão ser adotadas com a finalidade de proporcionar uma educação científica adequada às exigências contemporâneas. As propostas que apresentei no Capítulo 5 são algumas das possibilidades que poderão contribuir para que se consiga melhorar a formação inicial de professores de Ciências Biológicas. Destaco que o desafio maior que vislumbro, após a realização da presente pesquisa, é dar continuidade aos estudos e às reflexões iniciados, organizando um Grupo de Estudos constituído por professores do curso de Ciências Biológicas da URI-Campus de Santo Ângelo-RS, independentemente de sua origem departamental, que se dispuserem voluntariamente a participar. Nesse grupo, a perspectiva do uso da História da Biologia no ensino das disciplinas da área da Biologia, deverá ser o eixo condutor das atividades de pesquisa e de prática docente que deverão emergir da atuação do grupo.

Finalizando, diante das constatações:

- i) A Ciência ocupa um lugar privilegiado na cultura atual, e a imagem que a Ciência e os cientistas têm para os estudantes é importante fator a ser considerado na educação científica;
- ii) Os cursos de formação de professores das áreas científicas, tanto a inicial quanto a continuada, raramente apresentam uma base epistemológica que propicie uma reflexão sobre a natureza da Ciência;
- iii) O ensino de Ciências, na maioria das vezes, restringe-se unicamente aos conteúdos científicos, desenvolvendo, nos estudantes, a concepção de que a Ciência é apenas um corpo organizado de conhecimentos, ignorando que, por detrás dos conhecimentos, existe um processo dinâmico de construção que é influenciado por vários fatores.

Acredito justificar-se a inserção da reflexão histórico-epistemológica na formação inicial. Igualmente, espero que mais trabalhos sejam desenvolvidos, tendo outros assuntos como objeto de análise histórica a partir de uma visão epistemológica atual e que, dessa forma, se consiga contribuir, cada vez mais, para a melhoria da formação inicial de professores de Ciências Biológicas, colaborando para a formação de cidadãos com uma educação científica adequada aos desafios contemporâneos.

7. REFERÊNCIAS

ABREU JR, L. **Conhecimento Transdisciplinar: o cenário epistemológico da complexidade**. Piracicaba: Unimep, 1996.

ACEVEDO, J. A.; VÁZQUEZ, A.; MARTÍN, M.; OLIVA, J. M.; ACEVEDO, P.; PAIXÃO, M. F.; MANASSERO, M. A. Naturaleza de la Ciencia y Educación Científica para la participación Ciudadana. Una revisión crítica. **Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 2, n. 2, p. 121-140, 2005. Disponível em <http://www.apac.eureka.org/revista/larevista.htm> . Acesso em 29 abr 2005.

ÁGREDA, N. E. M. **Enfoque alostérico de la educación**. Universidad Cristiana de las Asambleas de Dios. Disponível em http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/giordan/LDES/espagnol/info_esp/publica_e_sp/articl_esp/ALOS_Agreda.pdf. Acesso em 25 set 2004.

AYRES, A. C. M. As tensões entre a Licenciatura e o Bacharelado: a formação dos professores de Biologia como território contestado. In: MARANDINO, M. *et al.* (org.). **Ensino de Biologia: conhecimentos e valores em disputa**. Niterói: Eduff, 2005, p. 182-197.

ALBERTS, B.; BRAY, D.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WATSON, J. D. **Biologia Molecular da Célula**. Trad. Amauri Braga Simonetti *et al.* 3 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

_____. **Fundamentos da Biologia Celular**. Porto Alegre: Artmed, 1999.

ALMEIDA, C.; OLIVEIRA, D. Unidos da Tijuca e Casa da Ciência sacudiram a poeira da Sapucaí e da popularização da Ciência. **Jornal da Ciência**. Rio de Janeiro, n. 524, p. 12, mar 2004.

ALMEIDA, D. F. de. **50 Anos de DNA: História de um sucesso e de duas tragédias**. (Conferência). 49º Congresso Nacional de Genética. Águas de Lindóia/SP, set. 2003.

_____. Um gênio das Ciências Biológicas. **Jornal da Ciência**. Rio de Janeiro, n. 534, p. 01, ago 2004.

ARCHER, L.; BISCAIA, J.; OSSWALD, W. (Coord.). **Bioética**. Lisboa: Verbo, 1996.

AVERY, O. T.; MAC LEOD, C. M.; MAC CARTY, M. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. **Journal of Experimental Medicine**, n. 79, p. 137-159, 1944.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BANET, E.; AYUSO, E. Introducción a la Genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. **Enseñanza de las Ciencias**, p. 137-153, 1995.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Rio de Janeiro: Edições 70, 1977.

BASTOS, F. História da Ciência e pesquisa em ensino de ciências: breves considerações. In: NARDI, R. (org). **Questões atuais no Ensino de Ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998, p. 43-52.

B E R G , P . **Asilomar and Recombinant DNA**. Disponível em <http://nobelprize.org/chemistry/articles/berg/>. Acesso em 20 out 2005.

BERG, P.; BALTIMORE, D.; BRENNER, S.; ROBLIN R. O; SINGER, M. F. Asilomar Conference on Recombinant DNA Molecules. **Science**, n. 188, p. 991-994, 1975.

BIZZO, N. M. V. **Ensino de Evolução e História do Darwinismo**. Tese (Doutorado em Educação), Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

_____. **Ciências: fácil ou difícil?** São Paulo: Ática, 1998.

_____. Ensino deficiente de ciência leva Brasil à última posição em pesquisa. **Jornal da Ciência**, Rio de Janeiro, n. 510, p. 08, ago 2003.

BJURESTEN, K.; HOVATTA, O. Donation of embryos for stem cell research: how many couples consent? **Human Reproduction**, v. 18, n.6, p. 1353-1355, jun 2003. Disponível em <http://humrep.oupjournals.org>. Acesso em 24 set 2005.

BOMBASSARO, L. C. **Ciência e Mudança Conceitual: notas sobre epistemologia e história da ciência**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1995.

BORGES, R. M. R. **A Natureza do Conhecimento Científico e a Educação em Ciências**. Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1991.

_____. **Em debate: cientificidade e educação em ciências**. Porto Alegre: SE/CECIRS, 1996.

____.; STEFANI, A.; ROSITO, B. A.; CAMARGO, L. E.; HULSEDEGER, M. J. V. C.; MANCUSO, R.; LIMA, V. M. R. Concepções sobre a natureza das Ciências e a educação em Ciências entre professores de pós-graduação no Brasil. In: **Anais do IV Encuentro de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur**. Buenos Aires: Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur, 22 al 25 de marzo de 2004 (CD-ROM).

BRASIL, Ministério da Educação e Desporto. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Terceiro e quarto ciclos do Ensino Fundamental – Temas Transversais. Brasília: MEC/SEF, 1998.

_____, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

_____, Ministério da Educação, Conselho Nacional de Educação. **Diretrizes Curriculares para os cursos de Ciências Biológicas**. PARECER CNE/CES N 1301/2001, de 6 de novembro. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1301.pdf>

BROWN, T. A. **Genética: um enfoque molecular**. Trad. Paulo Armando Motta e Liane Oliveira Mufarrej Barbosa. 3 ed. Rio de Janeiro: G. Koogan, 1999.

BRUSH, S. G. Should the History of Science Be Rated X? **Science**, v. 183, p. 1164-1172, mar 1974.

BUGALLO RODRIGUEZ, A. La Didáctica de la Genética: Revisión Bibliográfica. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 3, n. 13, p. 379-385, 1995.

CACHAPUZ, A. F.; PAIXÃO, F. Placing the History and the Philosophy of Science on teacher education. In: **Proceedings of 10th IOSTE SYMPOSIUM**. Foz do Iguaçu: International Organization of Science and Technology Education, 28 jul a 02 ago 2002, p. 10-19.

CAMARGO, L. Temos que dar um passo de cada vez. **Zero Hora**, Porto Alegre, n. 14612, p. 3, 27 ago 2005 (Caderno Vida).

CANDOTTI, E. A ciência deve entender o público. **Jornal da Ciência**, Rio de Janeiro, n. 441, p. 02, 11 ago 2000.

_____. Guardiã do saber. **Isto é**, São Paulo, n.1765, p. 78-79, 30 jul 2003.

CARVALHO, A. M. P. de; GIL-PÉREZ, D. **Formação de professores de Ciências**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1995.

CASONATO, O. **Les obstacles dans la reserche et dans l'enseignement a la connaissance du support moleculaire de l' "information" genetique**: Proposition d'une nouvelle methode d'enseignement des sciences de la vie. Thèse (Doctorat) – UF Didactique des disciplines, Université Paris VII. Paris, 1992.

CHALMERS, A. F. **O que é Ciência, afinal?** Trad. Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHASSOT, A. Por que a produção intelectual é predominantemente masculina? **Jornal da Ciência**, Rio de Janeiro, n. 518, p. 07, 21 nov 2003a.

_____. **A Ciência é masculina? É sim, senhora!** São Leopoldo: Editora da Unisinos, 2003b.

CLOTET, J. Bioética como ética aplicada e genética. In GARRAFA, V.; COSTA, S. F. C. (org.) **A Bioética no século XXI**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 2000. p. 109-128.

COLOM, A. J. **A (des) construção do conhecimento pedagógico: novas perspectivas para a educação**. Trad. Jussara Haubert Rodrigues. Porto Alegre: Artmed, 2004.

COUTINHO, M. O nascimento da Biologia Molecular: revolução, redução e diversificação – um ensaio sobre modelos teóricos para descrever mudança científica. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 15, n. 3, p. 43-82, set/dez 1998.

DA ROS, M. A. **Estilos de pensamento em Saúde Pública: um estudo da produção FSP-USP e ENSP-FIOCRUZ, entre 1948 e 1994, a partir da epistemologia de Ludwik Fleck**. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

DELAGE, Y. **L' Hérédité: et les grands problèmes**. 2 ed. Paris: Librairie C. Reinwald, 1903.

DELIZOICOV, NADIR C. **O movimento do sangue no corpo humano: história e ensino**. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

_____; DELIZOICOV, D. Trajeto do sangue no corpo humano: instauração – extensão – transformação de um estilo de pensamento. In: **Atas do II encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**. São Paulo/Valinhos: Associação Brasileira Pesquisadores em Ensino de Ciências, 1999 (CDROM).

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DELIZOICOV, D.; CASTILHO, N.; CUTOLO, L. G. A.; DA ROS, M. A.; LIMA, A. M. C. Sociogênese do Conhecimento e Pesquisa em Ensino: contribuições a partir do referencial fleckiano. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.19, n. especial, p. 52-69, jun 2002.

EINSIEDEL, E. Vozes dos cidadãos: participação pública na área da biotecnologia. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 26, p. 115 -128, 2003.

EL-HANI, C. N.; TAVARES, E. J. M.; ROCHA, P. L. B. da. Concepções epistemológicas de estudantes de Biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre História e Filosofia das Ciências. **Investigações em ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 9, n.3, p. 01-50, dez 2004. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino>. Acesso em 12 ago 2005.

FAUSTO-STERLING, A. Gender and Science in the DNA Story. **Science**, n. 298, p. 1177-1178, 2002.

FERREIRA, R. **Watson & Crick - a história da descoberta da estrutura do DNA**. São Paulo: Odisseus, 2003.

FLECK, L. **La génesis y el desarrollo de un hecho científico**. Trad. Luis Meana. Madrid: Alianza Editorial, 1986a.

_____. Some Specific Features of the Medical Way of Thinking (1972). In: COHEN, R. S.; SCHNELLE, T. (Eds). **Cognition and fact**. Dordrecht: Reidel Publishing Company, 1986b, p. 39-46.

_____. To look, to see, to know (1974). In: COHEN, R. S.; SCHNELLE, T. (Eds). **Cognition and fact**. Dordrecht: Reidel Publishing Company, 1986c, p. 129-151.

FOUREZ, G. **A construção das Ciências. Introdução à filosofia e a ética das Ciências**. Trad. Luiz Paulo Rouanet. São Paulo: Unesp, 1995.

_____. Crise no Ensino de Ciências? Trad. Carmen Cecília de Oliveira. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.8, n 2, 2003. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino>. Acesso em 12 fev 2005.

FRANKLIN, R. E.; GÖSLING, R. G. Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate. **Nature**, v. 171, n. 4356, p. 740-741, abr 1953.

FREIRE-MAIA, N. **A ciência por dentro**. 5 ed. Petrópolis: Vozes, 1998.

GALAGOVSKY, L.; ADÚRIZ - BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. **Enseñanza de las Ciencias**. Barcelona, v. 2, n. 19, p. 231-242, 2001.

GASTAL, M. L.; REZENDE, L. Importância do curso de graduação na concepção de ciência dos estudantes de Ciências Biológicas. Caderno de Programas e Resumos do **IX Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia**. Campinas: Graf. FE/UNICAMP, 2004. p. 51-52.

GAUTHIER, C.; MARTINEAU, S.; DESBIENS, J. F.; MALO, A.; SIMARD, D. **Por uma teoria da pedagogia: pesquisas contemporâneas sobre o saber docente**. Trad. Francisco Pereira Lima. Ijuí: Unijuí, 1998.

GERALDI, C. M. G.; MESSIAS, M.da G. M.; GUERRA, M. D. S. Refletindo com Zeichner: um encontro orientado por preocupações políticas, teóricas e epistemológicas. In. GERALDI, C. M. G.; FIORENTINI, D.; PEREIRA, E. M. (Org.). **Cartografia do Trabalho Docente: professor(a)-pesquisador(a)**. Campinas: ALB e Mercado das Letras, 2000. p. 237-274.

GIORDAN, A. ; VECCHI, G. **As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos**. Trad. Bruno Charles Magne. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

GOLDIM, J. R. Conferência de Asilomar. Disponível em www.bioetica.ufrgs.br/asilomar.htm. Acesso em 02 nov 2005.

GOODFIELD, J. **Brincando de Deus: A Engenharia Genética e a Manipulação da Vida**. Trad. Regina Regis Junqueira. Belo Horizonte: Itatiaia, 1998 (Coleção o homem e a ciência; v. 12).

GOUYON, J-B. Friedrich Miescher, trop tôt, trop tard. **La Recherche**, n. 336, p. 54-55, nov 2000.

GRIBBIN, J. **In Search of the Double Helix**. New York: Mc Graw Hill, 1985.

GRIFFITHS, A. J. F.; MILLER, J. H.; SUZUKI, D. T.; LEWONTIN, R. C.; GELBART, W. M. **Introdução à Genética**. Trad. Paulo Armando Motta. 6. ed. Rio de Janeiro: G. Koogan, 1998.

GRINNELL, F. **The Scientific Attitude**. 2. ed. New York/London: The Guilford Press, 1992.

HAMILTON, D. J. The peer interview about complex events: a new method for the investigation of preinstructional know-ledge. **International Journal of Science Education**, v. 18, n.4, p. 493-505, 1996.

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**. Porto Alegre, v.4, n.3, 1999. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino>. Acesso em: 04 mai 2003.

HARRES, J. B. S.; PIZZATO, M. C.; SEBASTIANY, A. P.; PEDREBON, F.; FONSECA, M. C.; HENZ, T. **Laboratórios de Ensino: inovação curricular na formação de professores de Ciências**. Santo André: ESETec, 2005.

HARWOOD, J. Ludwik Fleck and the Sociology of Knowledge. **Social Studies of Science**, London, v.16, p. 173-187, 1986.

HAUSMANN, R. **História da Biologia Molecular**. Trad. Celma E. Lynch de Araújo Hausmann. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2002.

HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M.; PRIETO-PÉREZ, J. L. Un currículo para el estudio de la Historia de la Ciencia en secundaria (la experiencia del seminario Orotava de Historia de la Ciencia). **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v.1, n.18, p. 105-112, 2000.

HESSEN, J. **Teoría Del Conocimiento**. México: Editorial Porrúa, 1994.

HOLTON, G. What Historians of Science and Science Educators Can Do For One Another. **Science & Education**, v.12, n.8, p. 603-616, 2003.

HUBBARD, R.; WALD, E. **Exploding the Gene Myth**. Boston: Beacon, 1999.

JUSTINA, L. A. D.; FERRARI, N. Bachelard: A teoria mendeliana como exemplo de ruptura – A construção do conhecimento científico na escola. **Biotemas**, v.13, n.2, p. 119-135, 2000.

JUSTINA, L. A. D.; FERRARI, N.; ROSA, V. L. da; Genética no Ensino Médio: Temáticas que apresentam maior grau de dificuldade na atividade pedagógica. In: **Anais do VII Encontro Perspectiva do Ensino de Biologia**. São Paulo: USP, 2000, p. 794-795.

KAWASAKI, C. S. Ensino de Biologia e Ética: a conexão possível. In: MARANDINO, M. et al. (org.). **Ensino de Biologia: conhecimentos e valores em disputa**. Niterói: Eduff, 2005, p. 76-81.

KELLER, E. F. **O século do gene**. Trad. Nelson Vaz. Belo Horizonte: Crisálida, 2002.

KRAPAS, S.; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D.; FRANCO, C. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.12, n.3, 1999. Disponível em: www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n3/krapas.htm. Acesso em 05 set 2003.

KRASILCHIK, M. **Prática de Ensino de Biologia**. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2004.

KRASILCHIK, M.; MARANDINO, M. **Ensino de Ciências e Cidadania**. São Paulo: Moderna, 2004.

LEDERMAN, N. G. Student's and teacher's conceptions of the nature of science: a review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, v.29, n.4, p. 331-359, 1992.

_____. Teachers Understanding of the Nature of Science and Classroom Practice: Factors that facilitate or impede the relationship. **Journal of Research in Science Teaching**, v.36, n.8, p. 916-929, 1999.

LEITE, R. C. M. **A Produção Coletiva do Conhecimento Científico: um exemplo no ensino de Genética**. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

LEITE, R. C. M.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. A História das Leis de Mendel na Perspectiva Fleckiana. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Porto Alegre, v.1, n.2, p.97-108, jan/abr 2001.

LEMGRUBER, M. S. Imperfeitos porque humanos. In CHASSOT, A.; OLIVEIRA, R. J. (org.). **Ciência, ética e cultura na educação**. São Leopoldo: Unisinos, 1998, p. 161 a 163.

LEVINSON, R. As Ciências ou as Humanidades: quem deve ensinar as controvérsias em Ciências? **Pro-Posições**, Campinas, v.12, n.1, p. 62-72, mar 2001.

LEWIS, J.; LEACH, J.; WOOD-ROBINSON, C. What's in a cell? – young people's understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. **Journal of Biological Education**, v.34, n.3, p. 129-132, 2000.

LEWIS, J.; WOOD-ROBINSON, C. Genes, chromosomes, cell division and inheritance – do students see any relationship? **International Journal of Science Education**, v.22, n.2, p. 177-195, 2000.

LEWONTIN, R. C. **It ain't necessarily so: the dream of the human genome and other illusions**. New York: New York Review of Books, 2000a.

_____. **Biologia como ideologia: a doutrina do DNA**. Trad. F. A. Moura Duarte, Francine Muniz e José Tadeu de Sales. Ribeirão Preto: FUNPEC, 2000b

LIN, H.; CHEN, C. Promoting Preservice Chemistry Teachers' Understanding about the Nature of Science through History. **Journal of Research in Science Teaching**, v.39, n.9, p. 773-792, 2002.

LONGDEN, B. Genetics – are there inherent learning difficulties? **Journal of Biological Education**, v.16, n.2, p. 135-140, 1982.

LOUREIRO, S.; MÍGUEZ, M.; OTEGUI, X. ¿Ciencia em las aulas o el mundo de Beakman? In: **Anais do IV Encuentro de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur**. Buenos Aires: Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur, 22 al 25 de marzo de 2004 (CDROM).

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. Temas básicos de educação e ensino. São Paulo: E. P. U., 1986.

MADDOX, B. **Rosalind Franklin, the Dark Lady of DNA**. London: Harper Collins Publishers, 2002.

MALDANER, O. A. **A formação continuada de professores de Química**. Ijuí: Unijuí, 2000.

MALDANER, O.; SCHNETZLER, R. P. A necessária conjugação da pesquisa e do ensino na formação de professores e professoras. In: CHASSOT, A.; OLIVEIRA, R. J. (org.). **Ciência, ética e cultura na educação**. São Leopoldo: Unisinos, 1998.

MANASSERO MAS, M. A.; VÁZQUEZ ALONSO, A. Actitudes de Estudiantes y Profesorado sobre las características de los científicos. **Enseñanza de las Ciencias**. Barcelona, v.2, n.19, p. 255-267, 2001.

MARQUES, M. O. **Conhecimento e Modernidade em Reconstrução**. Ijuí: Unijuí, 1993.

MARTÍN, M.; OSÓRIO, C. Educar para participar em Ciencia y Tecnología. Un Proyecto para la difusión de la Cultura Científica. **Revista Iberoamericana de Educación**, Madrid, n.32, p. 165-210, 2003. Disponível em <http://www.campus-oei.org/revista> Acesso em 29 jul 2005.

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.

MASSARANI, L.; MAGALHÃES, I.; MOREIRA, I. C. Quando a ciência vira notícia: um mapeamento da Genética nos jornais diários. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n.26, p. 141-148, 2003.

MATTHEWS, M. R. **Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science**. London: British Library Cataloguing, 1994.

_____. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, Florianópolis, v.12, n.3, p. 164-214, dez 1995.

MAYR, E. **O desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade, evolução e herança**. Trad. Ivo Martinazzo. Brasília: UnB, 1998.

McGRAYNE, S. B. **Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em Ciências: suas vidas, lutas e notáveis descobertas**. Trad. Maiza F. Rocha e Renata Brandt de Carvalho. São Paulo: Marco Zero, 1994.

MENEGHINI, R. Os gênios e o gene. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 86, abr 2003 (Suplemento "Meio Século de uma Revolução").

MENGASCINI, A.; MENEGAZ, A.; MURRIELLO, S.; PETRUCCI, D. "...Yo así, locos como los vi a ustedes, no me lo imaginaba." Las imágenes de ciencia y de científico de estudiantes de carreras científicas. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v.1, n.22, p. 65-77, 2004.

MISGELD, W.; OHLY, K. P.; STROBL, G. The Historical-Genetical Approach to Science Teaching at the Oberstufen-Kolleg, Bielefeld. **Science and Education**, v.9, p. 333-341, 2000.

MONK, M.; OSBORNE, J. Placing the History an Philosophy of Science on the Curriculum: A model for the Development of Pedagogy. **Science Education**, v.81, n.4, p. 405-423, jul 1997.

MOREIRA, C. A. O código genético da nossa América. **Zero Hora**. Porto Alegre, p. 4-5, 4 out 2003 (Segundo Caderno).

MORIN, E. **Os Sete Saberes necessários à Educação do Futuro**. Trad. Catarina Eleonora F. Da Silva e Jeanne Sawaya. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2000.

NOUVEL, P. **A Arte de Amar a Ciência**. Trad. Fernando Jacques Althoff. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2001.

OLBY, R. **The Path to the Double Helix: the Discovery of DNA**. New York: Dover Publications, 1994.

_____. Why celebrate the golden jubilee of the double helix? **Endeavour**, London, v.27, n.2, p. 80-84, jun 2003.

OLIVEIRA, R. J. **A escola e o ensino de ciências**. São Leopoldo: Unisinos, 2000.

_____. La Complejidad y la Enseñanza de las Ciencias: Un Desafío Siempre Presente. **Conversación**. Montevideo, n.8, p. 25-30, set 2004.

OLIVEIRA, V. Natureza da ciência e formação inicial de professores de física e química. **Revista de Educação**, Lisboa, v.1, n.3, p. 67-76, 1993.

PENA, S. D. J. Clonagem Humana. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, n.11, p. 113-122, 1999.

PETRUCCI, D.; DIBAR URE, M. C. Imagen de la Ciencia en alumnos universitarios: una revisión y resultados. **Enseñanza de las Ciencias**. Barcelona, v.2, n.19, p. 217-229, 2001.

PFEUTZENREITER, M. R. **O ensino da medicina veterinária preventiva e saúde pública nos cursos de Medicina Veterinária**. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

PORLÁN, R.; RIVERO, A. **El conocimiento de los profesores: el caso del área de ciencias**. Sevilla: Díada, 1998.

RICARDO FERREIRA: DNA PARA LEIGOS. **Jornal da Ciência**. Rio de Janeiro, n.501, p. 12, 21 mar 2003.

ROBERTS, R. M. **Descobertas acidentais em ciências**. São Paulo: Papyrus, 1993.

SADLER, T. D.; ZEIDLER, D. The morality of socioscientific issues: Construal and resolution of genetic engineering dilemmas. **Science Education**, v.88, n.1, p. 4-27, 2004.

SALZANO, F. M. Genética, ambiente e problemas sociais. In: SACCHET, A. M. de O. F. (org). **Genética para que te quero?** Porto Alegre: Ed.Universidade/ UFRGS, 1999, p. 75-81.

SANTOS, C. H.; SILVA, M. R. História Ilustrativa e Integrada nos livros didáticos de Biologia. In: **Anais do I Encontro Nacional de Ensino de Biologia e III Encontro Regional de Ensino de Biologia da Regional RJ/ES**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ensino de Biologia, 2005, p. 787-790 (CDROM).

SANTOS, M. E. **Mudança conceitual na sala de aula**. Lisboa: Livros Horizontes, 1991.

SCHEID, N. M. J. **Os conceitos de Genética e as implicações na docência**. Dissertação (Mestrado em Educação nas Ciências) - Departamento de Pedagogia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2001.

SCHEID, N. M. J.; BOER, N.; OLIVEIRA, V. L. B. Os erros e as fraudes na ciência e a formação de professores. In: **Caderno de Programas e Resumos do IX Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia**. São Paulo/Campinas: FE/UNICAMP, 2004, p. 70-71.

SCHEID, N. M. J., DELIZOICOV, D. e FERRARI, N. A proposição do modelo de DNA: um exemplo de como a história da ciência pode contribuir para o ensino de Genética. In: **IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Bauru: Associação Brasileira de Pesquisadores em Educação em Ciências, 2003 (CDROM).

SCHEID, N. M. J.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. A construção coletiva do conhecimento científico sobre a estrutura do DNA. **Ciência & Educação**, v.11, n.2, (no prelo), 2005.

SCHRÖDINGER, E. **O que é vida? O aspecto físico da célula viva seguido de mente e matéria e fragmentos autobiográficos**. Trad. Jesus de Paula Assis e Vera Yukie Kuwajima de Paula Assis. 4. ed. São Paulo: UNESP, 1997.

SEPEL, L. Genomas e Proteomas. In: MOTA, R.; FLORES, R. Z.; SEPEL, L.; LORETO, E. **Método Científico & Fronteiras do Conhecimento**. Santa Maria: Cesma, 2003, p. 89-114.

SHAMOS, M. **The Myth of Scientific Literacy**. New Jersey: Rutgers University Press, 1995.

SILVA, C.; SILVA, P.; PASSOS, P.; MORAIS, A. M.; NEVES, I. P. A construção da ciência e o ensino da ciência: a fraude em ciência. **Revista de Educação**, Lisboa, v.4, n.1/2, p. 171-174, dez 1994.

SILVER, B. **A Escalada da Ciência**. Trad. Arno Blass. Florianópolis: UFSC, 2003.

SLONGO, I. I. P. **História da Ciência e ensino: contribuição para a formação do professor de biologia**. Dissertação (Mestrado em Educação) - Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1996.

SMITH, M. U.; SCHARMANN, L. C. Defining versus describing the nature of science: a pragmatic analysis of classroom teachers and science educators. **Science Education**, v.4, n.83, p. 493-509, 1999.

SOLBES, J.; TRAVER, M. J. La Utilización de la Historia de las Ciencias en la enseñanza de la Física y la Química. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v.1, n.14, p. 103-112, 1996.

_____. Resultados obtenidos introduciendo Historia de la Ciencia en las clases de Física y Química: mejora de la imagen de la Ciencia y desarrollo de actitudes positivas. **Enseñanza de las Ciencias**. Barcelona, v.1, n.19, p. 151-162, 2001.

SOLOMON, J.; SCOT, L.; DUVEEN, J. Large scale exploration of pupil's understanding of the nature of science. **Science Education**, n.80, p. 493-508, 1996.

STRATHERN, P. **Crick, Watson e o DNA**. Trad. Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001.

SUSI, E. Ciencia y Género: autoridad y medida en la enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v.2, n.12, p. 200-206, 1994.

SUZUKI, D. T. Reflections on the Limits of Science and Technology. **Symposium on Science as a Way of Knowing**. Annual Meeting of the American Society of Zoologist, Baltimore, p. 889-894, dec 1985.

TERRAZAN, E. A formação de professores centrada na aula. In: **Anais da IV Escola de Verão para professores de Práticas de Ensino de Biologia, Física, Química e áreas afins**. Uberlândia, UFU, 1998, p. 39-44.

THOMAS, J. Learning about Genes and Evolution through Formal and Informal Education. **Studies in Science Education**, v.35, p. 59-92, 2000.

TURNEY, J. Resposta popular à ciência e à tecnologia: ficção e o fator Frankenstein. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n.26, p. 99-114, 2003.

WATSON, J. D. **The Double Helix: a personal account of the discovery of the structure of DNA**. London: Penguin Books, 1968.

WATSON, J.; CRICK, F. A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid . **Nature**, v.171, n.4356, p. 737-738, abr 1953.

WEAVER, W. Molecular Biology: Origins of the term. **Science**, v.170, p. 581-582, nov 1970.

WILKINS, M. H. F.; STOKES, A. R.; WILSON, H. R. Molecular Structure of Deoxypentose Nucleic Acids. **Nature**, v.171, n.4356, p. 738-740, abr 1953.

WOOD-ROBINSON, C.; LEWIS, J.; LEACH, J.; DRIVER, R. Genética y Formación Científica: resultados de un proyecto de investigación y sus implicaciones sobre los programas escolares y la enseñanza. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v.1, n.16, p. 43-61, 1998.

WORTMANN, M. L. C. **Programações curriculares em Cursos de Ciências Biológicas: um estudo sobre as tendências epistemológicas dominantes**. Tese (Doutorado em Educação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - As situações elaboradas para balizar a busca dos dados de pesquisa.

Anexo 2 - O questionário.

Anexo 3 - Tabela Síntese do Questionário.

Anexo 4 - Grade Curricular do Curso de Ciências Biológicas/ Licenciatura 2001/03.

Anexo 5 - Grade Curricular do Curso de Ciências Biológicas/ Licenciatura 2004/05.

Anexo 6 - Currículo Básico do PEIES, Santa Maria, v. 5, 1999.

Anexo 7 - Currículo Básico do PEIES, Santa Maria, v. 6, 2004.

Anexo 8 - Figura 1: Representação esquemática e modelo espacial da molécula de DNA.

Anexo 9 - Figura 2: Fotografia da molécula de DNA feita a partir da microscopia eletrônica.

Anexo 10 - Figura 3: Fotos de difração por Raios-X de uma molécula de DNA feita pela cientista Rosalind Franklin.

Anexo 11 – Transcrição completa das entrevistas.

ANEXO 1

As situações elaboradas para balizar a busca dos dados de pesquisa.

Situação 1

Extraída de: GENÉTICA: UM ENFOQUE MOLECULAR (BROWN, 1999).

A descoberta da dupla hélice por James Watson e Francis Crick em Cambridge, 1953, foi um dos grandes triunfos da dedução na história da ciência e tem influenciado cada aspecto da Genética molecular, bem como da biologia como um todo (p. 24-25).

Questões propostas:

1. Quando a gente fala em DNA, o que você lembra?
2. Como é a molécula do DNA?
3. Na Figura 1 (anexo 8) temos duas representações do modelo de estrutura do DNA. Como a gente sabe que a estrutura do DNA é assim?
4. A gravura na Figura 2 (F2) (anexo 9) que é uma fotografia feita a partir da microscopia eletrônica apresenta uma molécula de DNA. Conseguimos ver a dupla hélice nessa fotografia? Onde está a dupla-hélice?
5. Na figura 3 (F3) (anexo 10) tem duas fotos de difração por Raios-X de uma molécula de DNA, feita pela cientista Rosalind Franklin. Segundo os historiadores da ciência a foto B foi decisiva para a proposição do modelo de dupla-hélice do DNA. Você já viu estas figuras? Onde? Você já viu explicações dessas figuras? (se a resposta do aluno for “Sim”):
 Você acha que é possível concluir que o DNA tem a estrutura de dupla hélice interpretando esta fotografia? Onde está a “informação decisiva”?
 (se a resposta for negativa, então dar a explicação: dizer que são fotos de moléculas de DNA, obtidas por difração de Raios-X). Watson e Crick se basearam nelas para dizer que a estrutura do DNA é uma dupla hélice. Você acha que é possível concluir que o DNA tem a estrutura de dupla hélice interpretando esta fotografia? (Se a resposta for Não) - Será que eles usaram outras coisas para tirar as conclusões deles?... Você sabia que eles trabalharam com modelos primeiramente em papelão...?
 Tudo saiu da cabeça deles (de Watson e Crick)? Chargaff... Pauling...etc.
 Será que eles concluíram que uma Adenina está sempre ligada a uma Timina e uma Citosina está sempre ligada a Guanina na molécula, quando eles viram estas fotos, ou foi quando eles usaram estes conhecimentos junto com a produção de modelos em papel e arame.

Você sabia que, antes de Watson e Crick trabalharem com o DNA. Outros pesquisadores já haviam concluído que as ligações ocorriam entre Adenina e Timina, assim como entre Citosina e Guanina, quando observaram que as quantidades de Citosina eram iguais as de Guanina e que as quantidades de Adenina eram iguais a Timina?

Em muitos textos a gente lê que Watson e Crick “**descobriram**” a estrutura da molécula de DNA.

Descobrir é igual ou diferente de inventar?

O que significa, pra você “inventar”? E “descobrir”?

(Possíveis respostas):

A) Descobriram porque...:

- ... a molécula do DNA é uma dupla hélice e estava lá o tempo todo, para ser descoberta.
- ... foram realizados experimentos para chegar até a molécula.

B) Inventaram porque:

- ... é uma interpretação de fatos experimentais que os cientistas fazem.
- ... as teorias vêm da mente, isto é, são criadas.

Situação 2

No Jornal da Ciência (edição de 06/08/04) o professor Darcy Fontoura de Almeida escreveu que Watson e Crick: “*Após algum insucesso, em dois meses de trabalho chegaram, em 1953, à estrutura da famosa hélice dupla. Para isso, não realizaram trabalho experimental algum; valeram-se dos dados obtidos por outros cientistas e da criação de modelos*”.

1. O que você acha disso? Será que na Ciência o cientista pode produzir novos conhecimentos por meio de teorias? E por meio de experimentos? Ou será que tem que ter as duas coisas? Chegar ao conhecimento sem fazer, ele mesmo, experimentos? Ou isso é (im) possível?

2. Você conhece outros modelos em Biologia? O do DNA é o mais importante? Síntese de proteínas, divisão celular, etapas do desenvolvimento embrionário? Assim como o modelo de dupla hélice para a estrutura do DNA, muitos outros modelos científicos são usados em laboratórios de pesquisa. Quais? O que são os modelos?

(Possíveis respostas)

A) São cópias da realidade porque...:

- Os cientistas dizem que eles são verdadeiros, então eles devem ser verdadeiros.
- Foi com muita evidência científica que se provou que eles são verdadeiros.
- São verdades da vida. Seu propósito é nos mostrar a realidade ou nos ensinar algo sobre ela.
- Eles estão baseados em observações científicas e pesquisa.

B) Não são cópias da realidade, isto é:

- São úteis simplesmente para aprender e explicar, dentro de suas limitações.

- Eles mudam com o tempo e com o estado do conhecimento.
- Estes modelos devem ser idéias ou suposições, uma vez que não se pode ver a “coisa” de fato.

Situação 3

Extraída de: FUNDAMENTOS DA BIOLOGIA CELULAR (ALBERTS *et al.*, 1999).

Os primeiros resultados de difração de raios X indicaram que o DNA era composto de duas fitas enroladas em uma hélice. A observação de que o DNA era uma fita dupla foi de um significado crucial. Ela forneceu um dos maiores indícios que levaram, em 1953, a um modelo correto para a estrutura do DNA (p. 187).

A descoberta da estrutura da dupla hélice do DNA foi um marco na biologia do século XX porque imediatamente sugeriu respostas a essas questões e, portanto, resolveu o problema da hereditariedade em âmbito molecular (p. 190).

Questões propostas:

1. O texto fala que em 1953, foi proposto “um modelo correto para a estrutura do DNA”. Você acredita que isso é uma verdade? Por quê?

2. Logo a seguir, está escrito que a dupla hélice “resolveu o problema da hereditariedade em âmbito molecular”. O que você acha disto?

3. Você acha que no futuro se poderão verificar erros no modelo de hélice dupla? Acha possível que ele seja modificado? Ligeiramente? Radicalmente?

(Possíveis respostas)

A) (Não). Então podemos dizer que o modelo de dupla hélice é certo? Podemos dizer que é verdade que o DNA é uma dupla hélice?

B) (Sim). Então na ciência pode haver erros?

4. Assinale as afirmações abaixo com as quais você concorda.

* Você pensa que o conhecimento científico pode mudar no futuro? Porque:

- () O conhecimento científico parece mudar com o tempo, porque conhecimentos novos surgem e complementam os conhecimentos velhos porque o conhecimento novo é adicionado ao conhecimento velho que não muda.
- () Os cientistas atuais podem contestar as teorias ou proposições dos cientistas de tempos passados, ao usar técnicas novas ou instrumentos melhores.
- () Podem ser encontrados fatores novos antes negligenciados, ou até mesmo erros na investigação original correta.
- () As idéias atuais explicam mais coisas que as idéias precedentes.
- () O conhecimento velho é reinterpretado levando em conta novos conhecimentos, pois os fatos científicos podem mudar.
- () O conhecimento científico parece mudar porque a interpretação ou a aplicação dos fatos velhos pode mudar; Porém, experiências corretamente terminadas produzem fatos inalteráveis.

5. Qual a sua opinião sobre as seguintes afirmações extraídas de: EM DEBATE: CIENTIFICIDADE E EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS (BORGES, 1996)?

- Se você fosse dar uma aula sobre esse assunto, como você falaria?
- Você mudaria alguma coisa?

O conhecimento encontra-se fora de nós, é exterior e deve ser buscado. Existe um método que a ciência utiliza para buscar esse conhecimento, que é o experimental, consiste, basicamente, em: a) observação dos fenômenos; b) medida das principais grandezas envolvidas; c) busca de relações entre essas grandezas, com o objetivo de descobrir as leis que regem os fenômenos que estão sendo pesquisados. Este processo, que permite chegar a conclusões gerais a partir de casos particulares, e denominado indução – e é uma das características fundamentais da ciência. Ele possibilita atingir um conhecimento seguro, baseado na evidência observacional e experimental (p. 12).

O conhecimento não se encontra nem em nós, nem fora de nós, mas é construído, progressivamente, pelas interações que estabelecemos. As teorias (nossos conhecimentos, memórias e crenças) precedem observações, influenciando-as (p. 17).

Situação 4

Extraída de: “Carta ao leitor”, revista Ciência Hoje, n. 203, abril de 2004.

A Câmara dos Deputados, no dia 5 de fevereiro deste ano, deu passo significativo na modernização da política brasileira de biossegurança. A controversa questão dos organismos geneticamente modificados – os transgênicos - ganhou adequada moldura legal, distinguindo as dimensões da pesquisa científica das ligadas ao mercado e ao aproveitamento comercial dos resultados em biotecnologia. O papel dos cientistas brasileiros nesse processo foi fundamental, já que ajudou a separar duas atitudes básicas e distintas: a defesa da liberdade de pesquisa – fundamental para o avanço do conhecimento – e a regulação cuidadosa do uso comercial de transgênicos, já que este, por definição, segue lógicas que nem sempre coincidem com o interesse público. Nessa regulação, a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), composta por cientistas, representantes do

governo e de associações científicas, tem um papel fundamental. Por tratar-se de tema de considerável complexidade científica, é vital que o processo decisório nesta área guarde a maior distância possível de injunções do mercado e da pequena política (p. 01).

Questões propostas:

- a) Qual o papel da Ciência e do cientista neste Projeto de Lei?
- b) Em relação aos transgênicos, não seria suficiente ouvir a opinião dos cientistas para proibi-los ou liberá-los para consumo humano, por exemplo? Por quê?
- c) As decisões científicas levam em consideração o bem estar da humanidade, enquanto as regras do mercado econômico visam a maior parcela de lucro possível. O que você pensa disso?
- d) Qual o papel do cidadão frente a um tema complexo como é o da regulamentação do uso comercial dos transgênicos?

ANEXO 2 Questionário

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES CAMPUS DE SANTO ÂNGELO

Declaro que consinto em participar como voluntário do Projeto de Tese “Inserção da História da Ciência no ensino de Genética: repercussões na formação inicial de professores de Biologia”, sob a responsabilidade da pesquisadora professora Neusa Maria John Scheid. Declaro que fui satisfatoriamente esclarecido que: A) estou livre para, a qualquer momento, recusar a responder às perguntas que ocasionem constrangimentos de alguma natureza; B) posso deixar de participar da pesquisa e que não preciso apresentar justificativas para isso; C) que serei informado de todos os resultados obtidos, independentemente do fato de mudar meu consentimento em participar da pesquisa; D) que não terei quaisquer benefícios ou direitos financeiros sobre os eventuais resultados decorrentes da pesquisa; E) que esta pesquisa é importante para o estudo e melhor entendimento do assunto. Assim, consinto em participar do projeto de pesquisa em questão.

QUESTIONÁRIO

1. Dados de identificação:

- a) Idade: _____ anos
 b) Sexo: () Masculino () Feminino
 c) Já é professor/a: () Sim () Não
 d) Se a resposta anterior for sim, assinale a disciplina e o nível de ensino em que ministra aulas:
- () Anos Iniciais () Ciências – EF () Matemática – EF () Biologia- EM
 () outra. Qual? _____

2. Assinale as afirmações abaixo com as quais você concorda.

* Você pensa que o conhecimento científico pode mudar no futuro? Porque:

- a) () O conhecimento científico parece mudar com o tempo, porque conhecimentos novos surgem e complementam os conhecimentos velhos porque o conhecimento novo é adicionado ao conhecimento velho que não muda.
- b) () Os cientistas atuais podem contestar as teorias ou proposições dos cientistas de tempos passados, ao usar técnicas novas ou instrumentos melhores.
- c) () Podem ser encontrados fatores novos antes negligenciados, ou até mesmo erros na investigação original correta.
- d) () As idéias atuais explicam mais coisas que as idéias precedentes.
- e) () O conhecimento velho é reinterpretado levando em conta novos conhecimentos, pois os fatos científicos podem mudar.
- f) () O conhecimento científico parece mudar porque a interpretação ou a aplicação dos fatos velhos pode mudar; Porém, experiências corretamente terminadas produzem fatos inalteráveis.

3. Qual a sua opinião sobre as seguintes afirmações extraídas de Borges (1996)?

- Se você fosse dar uma aula sobre esse assunto, qual delas você escolheria?
- Como você falaria? Você mudaria alguma coisa?

A) “O conhecimento encontra-se fora de nós, é exterior e deve ser buscado. Existe um método que a ciência utiliza para buscar esse conhecimento, que é o experimental, consiste, basicamente, em: a) observação dos fenômenos; b) medida das principais grandezas envolvidas; c) busca de relações entre essas grandezas, com o objetivo de descobrir as leis que regem os fenômenos que estão sendo pesquisados. Este processo, que permite chegar a conclusões gerais a partir de casos particulares, e denominado indução – é uma das características fundamentais da ciência. Ele possibilita atingir um conhecimento seguro, baseado na evidência observacional e experimental” (p.12).

B) “O conhecimento não se encontra nem em nós, nem fora de nós, mas é construído, progressivamente, pelas interações que estabelecemos. As teorias (nossos conhecimentos, memórias e crenças) precedem observações, influenciando-as” (p. 17).

4. Leia o texto a seguir extraído da sessão “Carta ao leitor”, da Ciência Hoje, n. 203, de abril de 2004,

“A **Câmara dos Deputados**, no dia 5 de fevereiro deste ano, deu passo significativo na modernização da política brasileira de biossegurança. A controversa questão dos organismos geneticamente modificados – os transgênicos - ganhou adequada moldura legal, distinguindo as dimensões da pesquisa científica das ligadas ao mercado e ao aproveitamento comercial dos resultados em biotecnologia. O papel dos cientistas brasileiros nesse processo foi fundamental, já que ajudou a separar duas atitudes básicas e distintas: a defesa da liberdade de pesquisa – fundamental para o avanço do conhecimento – e a regulação cuidadosa do uso comercial de transgênicos, já que este, por definição, segue lógicas que nem sempre coincidem com o interesse público. Nessa regulação, a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), composta por cientistas, representantes do governo e de associações científicas, tem um papel fundamental. Por tratar-se de tema de considerável complexidade científica, é vital que o processo decisório nesta área guarde a maior distância possível de injunções do mercado e da pequena política”(p. 01).

a) Qual o papel da ciência e do cientista neste Projeto de Lei?

b) Em relação aos transgênicos, não seria suficiente ouvir a opinião dos cientistas para proibi-los ou liberá-los para consumo humano, por exemplo? Por quê?

c) As decisões científicas levam em consideração o bem estar da humanidade, enquanto as regras do mercado econômico visam a maior parcela de lucro possível. O que você pensa disso?

d) Qual o papel do cidadão frente a um tema complexo como está sendo o da regulação do uso comercial dos transgênicos?

Muito obrigada pela sua colaboração!

ANEXO 3

Tabela Síntese do Questionário (anexo 2)

Estudante	idade	Sexo	Já é professor?	Respostas à questão 2						Respostas à questão 3		Respostas à questão 4			
				2a	2b	2c	2d	2e	2f	3 ^a	3B	4 ^a	4b	4c	4d
A1	21	F	N		x			x		Eu daria alguma experiência ou projeto que demonstrasse de forma dinâmica a construção do conhecimento		Dar os pontos favoráveis ou não para o esclarecimento do assunto	Não, porque uma parte da população não acredita nos cientista, sendo necessária uma segunda opinião.	Que se deve levar em conta as considerações científicas sem visão de lucro	Cabe ao cidadão fazer sua escolha levando em consideração as informações apresentadas.
A2	21	F	N		x	x		x				Estar sempre dando opiniões e não deixar qualquer lei ser decidida e entrar em vigor	Não somente ouviremos cientistas mas também médicos que estão mais próximos da saúde podem sim deixar claro os riscos que podem trazer para a saúde ou de repente não tem nenhum risco.	Atitudes normais nos dias de hoje já que estamos em uma época que o importante é somente os fins lucrativos.	Apesar de achar que nos tempos que estamos não somos mais capazes de reivindicar nossos direitos como era feito em décadas passadas. Acho que mudaria o rumo de muitas decisões se o povo buscasse seus direitos
A3	24	F	N		x			x		Que o conhecimento deve ser buscado nos meios em que vivemos, pelos professores, no nosso dia-a-dia, buscar sempre aprender, não decorar		A busca pela continuidade das pesquisas	Sim. Porque eles conhecem os seus benefícios.	Concordo plenamente pois o mercado econômico quer lucros.	Nós, os cidadãos estamos no meio dessa guerra dos transgênicos e devemos tomar mais atenção, dar nossa opinião, não ser comandados pelos grandes.

Estudante	idade	Sexo	Já é professor?	Respostas à questão 2						Respostas à questão 3		Respostas à questão 4			
				2a	2b	2c	2d	2e	2f	3 ^a	3B	4 ^a	4b	4c	4d
A4	24	F	S	x			x			A afirmação A, mas eu colocaria ela de um modo mais simples e prático, com exemplos do cotidiano dos alunos.		A busca pela continuidade das pesquisas e a certeza de bons resultados.	Sim. Pois eles conhecem os benefícios e alguns prováveis malefícios. Desde que esclareçam a sociedade	Concordo plenamente pois o mercado econômico quer lucro independente de prejudicar ou não a humanidade.	Indecisa por enquanto, pois ainda não está bem claro o que é o que faz e ode vir a fazer.
A5	22	F	N	x				x		Escolheria a letra A e não mudaria nada, pois acredito que o conhecimento encontra-se fora de nós e que temos que buscá-lo, se não fosse assim, não seria necessária de “aperfeiçoamento e busca de conhecimentos”.		Papel principal, pois não podemos deixar que “leigos” analisem esses tipos de casos.	Sim, pois estes procuram preservar o bem estar da humanidade.	É uma dura realidade, visto que muitas vezes os cientistas não podem desempenhar seu verdadeiro papel na sociedade, uma vez que esta só pensa em lucros e crescimento econômicos.	Ficar mais afastado, pois acredito que nem todos (talvez a minoria) saibam verdades sobre o assunto.
A6	23	F	N	x		x		x		Escolheria a letra B, porque o conhecimento deve ser construído através das nossas relações com o cotidiano, na medida em que evoluímos como pessoa, adquirindo assim, as riquezas que nos rodeiam.	Foi de mostrar que a pesquisa é fundamental e que deve se ter cuidado p/ ã cometer erros futuramente.	Não, acho que a opinião do consumidor é fundamental, pois ninguém sabe realmente, se eles fazem mau ou não.	Acho que infelizmente, tudo gira em torno da economia, e muitas vezes, ã damos importância p/a ciência.	Acho que o cidadão deve ter liberdade de escolha, porque muitos, como eu, ã gostaríamos de consumir produtos transgênicos, mas ainda ã é possível.	

Estudante	idade	Sexo	Já é professor?	Respostas à questão 2						Respostas à questão 3		Respostas à questão 4			
				2a	2b	2c	2d	2e	2f	3ª	3B	4ª	4b	4c	4d
A7	20	F	N	x	x	x					Concordo com a 2ª afirmação, pois o conhecimento que temos nos guia na descoberta ou criação de novos conhecimentos. Essa criação se dá através das relações que estabelecemos entre nossos conhecimentos e os fatos que estamos observando.	Ao cientista cabe tornar público seu conhecimento no assunto, posicionando-se contra ou a favor de transgênicos conforme os riscos do uso desses, não influenciado pelo mercado.	Não, porque não se pode ter plena garantia da neutralidade do cientista.	Nem todas as decisões científicas levam em consideração somente o bem estar da humanidade, muitas são induzidas por pressões do mercado.	Agir com cautela, não pensando só em benefícios econômicos, mas nas conseqüências à saúde e ao meio ambiente pelo uso de transgênicos.
A8	26	F	N		x	x					A opção B está mais próximas de nós, pois ao longo da vida vamos construindo nosso conhecimento.	É de definir e esclarecer os reais propósitos dos OGMs.	Não sabemos ao certo o que um organismo geneticamente modificado pode fazer em nosso organismo, como ele vai reagir, para termos essas previsões é preciso estudo, experiências feitas por cientistas.	Certamente seria melhor se as decisões fossem tomadas em benefício da comunidade, mas em uma política capitalista tudo visa ao lucro, independente de bom ou mau.	Para ele está claro os problemas que acarretariam se os transgênicos fossem liberados com intuito comercial e não de pesquisa.

Estudante	idade	Sexo	Já é professor?	Respostas à questão 2						Respostas à questão 3		Respostas à questão 4			
				2a	2b	2c	2d	2e	2f	3 ^a	3B	4 ^a	4b	4c	4d
A9	-	F	S		x		x	x			A vida nos proporciona a construção do conhecimento, a cada minuto, vivenciamos fatos novos os quais enriquecem a nossa bagagem de conhecimentos.	Papel da ciência – “ganhou... uso comercial de transgênicos”.	Sim, porque eles defendem a pesquisa e regulam com cuidado o uso comercial de transgênicos.	É uma colocação verdadeira porém coloca a humanidade em perigo.	O cidadão deverá ter consciência da decisão que irá tomar, pensar para o futuro.
A10	33	F	S		x	x		x			(só assinalou a B)	Esclarecer dúvidas em relação ao assunto e ajudar a julgar pois somente eles têm noção do que se está trabalhando.	Não, é também necessário ouvir a opinião dos consumidores.	Que muitas vezes o homem só pensa em lucrar sem se preocupar nos problemas que isto poderá trazer no futuro. Hoje a maioria dos agricultores festejam os lucros trazidos pelos transgênicos, sem pensar se estes alguns anos mais tarde não poderão causar prejuízos aos bolsos e ao meio ambiente.	Deve-se procurar tomar conhecimento do que está acontecendo e questionar o seu uso, para que não se torne um problema para as futuras gerações.

Estudante	idade	Sexo	Já é professor?	Respostas à questão 2						Respostas à questão 3		Respostas à questão 4				
				2a	2b	2c	2d	2e	2f	3 ^a	3B	4 ^a	4b	4c	4d	
A11	20	F	N		x	x	x				Eu escolheria a alternativa B. Falaria que para termos conhecimentos, devemos construí-lo a partir de observações e experimentos. Diria também que todos nós de alguma maneira possuímos um certo grau de conhecimento, porém, e o “conhecimento novo” virá acrescentar aquilo que sabemos, porém jamais alguma pessoa saberá tudo. Quanto mais se vive, mais se observa, mais se aprende.		Garantir o bem estar da saúde pública.	Seria suficiente ouvir apenas a opinião dos cientistas, Desde que fossem “neutros” nesta disputa econômica, pis um cientista sabe muito mais se um transgênicos pode prejudicar nossa saúde do que um político, que não entende a fundo o assunto em si, e só pensa no que é mais lucrativo.	Penso que atualmente, só tem vez e voz aqueles que possuem o maior capital. Não importam-se com o bem estar “geral” e sim com os lucros que terão, tomando determinadas decisões.	Estar sempre atento a tudo que diz respeito ao assunto, os prós e contras, e decidir se vai ou não optar por fazer uso deles. Sabendo as conseqüências, se existirem.

Estudante	idade	Sexo	Já é professor?	Respostas à questão 2						Respostas à questão 3		Respostas à questão 4			
				2a	2b	2c	2d	2e	2f	3 ^a	3B	4 ^a	4b	4c	4d
A12	22	F	N		x						O assunto B, faria uma aula expositiva sobre “conhecimento”, como ele é construído, através das relações do nosso dia-a-dia, relacionando sempre com o meio em que o aluno está inserido, e o seu interesse.	É preservar a biossegurança, até que ponto a liberação de transgênicos é benéfica ou maléfica para a população e para as plantas.	Sim, pois os cientistas devem aprovar ou não, pois estão fazendo diversas experiências para testa-los, seus efeitos, suas causas.	Penso que o lado econômico (agricultura) é muito importante, pois é através dele que muitos sobrevivem, mas a saúde da humanidade está acima de tudo.	O papel do cidadão é de opinar, decidir, e a decisão de todos é que deve prevalecer, e não só de alguns. Devem exercer a sua democracia.
A13	26	M	N				x		x		O “B”. Como está no texto “B”.	De pesquisador e de mediador entre a comunidade e os cientistas.	Não, deve ser ouvidos todos os que serão envolvidos.	O lucro deveria ser deixado de lado e sim visto o b e m d a humanidade.	Deveria ser mais atuante, sobretudo sobre o assunto, os lados positivos e os negativos.
A14	21	F	N		x	x		x		Letra A, porque acredito que temos que buscar as informações que vem do exterior, elas chegam até nós mas temos que saber interpretá-las.		Esclarecer a população dos prós e contras sobre os transgênicos.	Porque isto não envolve só a ciência mas também a economia.	Que a ciência quer melhorar, aperfeiçoar a tecnologia para melhorar a vida da população e n q u a n t o o mercado só visa ao lucro.	Exigir informações para saber se isto é bom ou ruim.
A15	21	F	-		x	x		x		Letra A. As informações vem do exterior.		Divulgar o conhecimento correto.	Não, porque envolve todos os setores.	A ciência sempre faz o que é melhor p a r a a humanidade.	Não sei.

Estudante	idade	Sexo	Já é professor?	Respostas à questão 2						Respostas à questão 3		Respostas à questão 4			
				2a	2b	2c	2d	2e	2f	3 ^a	3B	4 ^a	4b	4c	4d
A16	22	M	S	x	x	x		x			B. eu diria que a observação é importante em qualquer experiência seja de cunho científico ou não. Porém, acredito que o “auto-conhecimento” é muito importante no desenvolvimento do ser, então creio que para alcançar esse conhecimento é preciso buscar ajuda externa (livros, prof.) mas tb fazer análises e reflexões internas.	Avaliar quais são os benefícios e os malefícios dos transgênicos.	Porque há uma opinião pública muito grande, e quem irá consumir esses produtos são pessoas que não tem muito conhecimento sobre o assunto, porém que estarão depositando suas esperanças em algo duvidoso.	Acredito que o bem da humanidade é a maior graça a ser atingida, porém vivemos em um mundo onde uns têm muito e outros pouco e a minoria que domina o mercado econômico quer continuar a ter muito. Logo, a solução é a produção em massa, para avaliar a fome de todos, e o transgênico tem sucesso nesse aspecto.	Manter-se informado sobre reportagens e sempre olhar o rótulo dos produtos que consome.
A17	44	F	N		x	x		x			O conhecimento é fundamental a todo ser humano. A busca que é o objetivo maior para o crescimento, para o conhecimento observando um todo.	Um papel fundamental, pela complexidade do tema.	Sim, acho importante as pesquisas em torno dos alimentos transgênicos, para se certificar dos efeitos que causam no futuro.	Que se deve dar maior valor ao ser humano; a sua saúde; de que ao poder aquisitivo.	É de extrema importância. Qual será a nossa opção? Poderemos escolher entre os alimentos transgênicos ou não? Qual será a informação?

Estudante	idade	Sexo	Já é professor?	Respostas à questão 2						Respostas à questão 3		Respostas à questão 4			
				2a	2b	2c	2d	2e	2f	3 ^a	3B	4 ^a	4b	4c	4d
A18	20	F	N		x						<p>Método B. Acho que realmente o conhecimento é construído, pois não se encontra conhecimento pendurado em uma árvore ou numa prateleira de supermercado. Tudo é construído a partir de relações de fenômenos, de fatos que se interligam, de conceitos que interagem entre si.</p>	<p>Avaliar e comprovar os benefícios e os malefícios do uso desses produtos. Controlar a disseminação deles pelo ambiente.</p>	<p>Sim, pois os cientistas têm conhecimento suficiente para avaliar a influência desses no ambiente. E além de tudo conhecem os métodos para pesquisas.</p>	<p>Creio que se deve dar valor ao bem da humanidade, pois a partir do momento que não se tem “compradores” não adianta terem grandes mercados econômicos.</p>	<p>Avaliar os dois lados da moeda e defender aquele que trará bem para o maior número possível de pessoas.</p>
A19	21	F	N	x	x			x	x		<p>Eu explicaria aos meus alunos o método que a ciência utiliza para obter conhecimento sobre determinado fenômeno, mas também iria trabalhar com eles a ideia que consiste na letra B, pois o novo conhecimento é construído com as interações que estabelecemos.</p>	<p>Defender a liberdade de pesquisa e a regulação do uso comercial dos transgênicos.</p>	<p>Não. Porque este é um assunto que diz respeito a toda a população, que também por ser humano tem o direito de decisão. Aos cientistas cabe esclarecer a população sobre o assunto, mas com certeza, são sujeitos indispensáveis na decisão.</p>	<p>Penso que os cientistas estão certos em levar em conta o bem e a saúde da humanidade e acho que esse deve ser o papel deles. Mas, infelizmente vivemos num mundo capitalista que gira em torno do lucro “em dinheiro” e assim gradativamente o homem vai acabando com seu meio ambiente, com sua saúde, etc.</p>	<p>Decidir o que quer consumir e lutar pelo que acha melhor para sua saúde.</p>

Estudante	idade	Sexo	Já é professor?	Respostas à questão 2						Respostas à questão 3		Respostas à questão 4			
				2a	2b	2c	2d	2e	2f	3 ^a	3B	4 ^a	4b	4c	4d
A20	21	F	N		x	x		x			Escolheria a letra B pois o conhecimento é adquirido durante a nossa vida através da nossa interação com o meio e a vida em sociedade.	A ciência serviu de base p/que os cientistas se pronunciassem nesta discussão, diferenciando a questão científica da social.	Sim, pois a nossa saúde, é isso o que interessa, o problema são os interesses políticos e econômicos que envolvem esta questão.	Penso que vivemos num mundo capitalista onde a competição do mercado obriga esta atitude. Porém deve haver um bom senso pois a saúde e o bem estar não podem ser prejudicados.	O papel do cidadão é inteirar-se do assunto, estudar mesmo, pois aí estão discutindo uma questão que irá afetar o seu bem estar e para tomar partido ele terá que conhecer os dois lados. Não pode se deixar levar pela visão unilateral.
A21	20	F	N	x		x	x			A afirmação "A", mas de um jeito mais prático, do cotidiano dos alunos.		Ajudar as pessoas decidirem (optar) sobre os transgênicos ou não.	Não, porque as pessoas também devem decidir se querem comer coisas transgênicas ou não.	Concordo porque o mercado econômico só quer dinheiro sem ver o que as pessoas querem e se for bem ou não p/as pessoas.	Tentar estar o mais informado possível, para saber se faz bem ou não para ele, a partir disso tomar sua decisão.
A22	28	F	N		x	x					Opção B. A vida é um caminho aonde vamos coletando informações, conhecimentos e armazenando para a continuação desse caminho.	Apenas comprovar o certo e o errado, suas causas e conseqüências primando sempre pelo bem estar da humanidade sem "ganhos e afins".	Eu acredito que sim, já que são eles os responsáveis pela pesquisa e são capazes para isso, sendo, contanto que haja outros interesses como financeiros envolvidos.	Penso que, às vezes, o lucro pode estar inserido nos dois lados, precisamos, para que não haja isso, pessoas idôneas e responsáveis.	O cidadão já vem com uma bagagem favorável e desfavorável sobre o assunto, o que resta é essas pessoas procurarem esclarecimentos comprovados para que possa nortear o seu pensamento: e procurar que seja feito todos os testes possíveis para comprovar os resultados.

Estudante	idade	Sexo	Já é professor?	Respostas à questão 2						Respostas à questão 3		Respostas à questão 4			
				2a	2b	2c	2d	2e	2f	3 ^a	3B	4 ^a	4b	4c	4d
A23	25	F	N		x		x			Escolheria a letra A porque é a mais correta.	--	--	Não. Todos os setores da sociedade precisam ser ouvidos.	--	Aceitar as decisões científicas.
A24	22	F	N		x	x		x		Escolheria a B. Acho correta, pois acredito que o conhecimento é construído através das vivências do indivíduo e as interações com o ambiente que lhe é oferecido.	Esclarecer as dúvidas, vantagens e desvantagens da pesquisa, além de lutar pelos direitos de pesquisa.	Eu entendo que seria, pois se os cientistas, que estudam anos o assunto não tem aval para isso, quem deverá ter? Claro que erros são possíveis tanto no caso de aceitar a opinião destes ou não.	Acho que muitas informações são manipuladas, por causa do dinheiro, acabando, por vezes, de denegrir os conhecimentos científicos sérios, como foi o caso dos transgênicos.	Esclarecer-se sobre o assunto, conhecer para criticar e posicionar-se.	
A25	21	F	N		x	x				Escolheria a letra B. Porque adquirimos o conhecimento durante nossa vida, através das experiências vividas e da convivência com as outras pessoas, e através da cultura.	A ciência serve de base para esclarecer as dúvidas das pessoas sobre o assunto e isto é feito através das pesquisas feitas pelos cientistas, visto que hoje (ainda) muitas pessoas não têm opinião à favor ou contra os transgênicos.	Sim. Porque os cientistas pesquisam sobre isso e os resultados devem ser publicados, bastando a palavra deles. Porém, muitas pessoas não acham isso suficiente.	--	O cidadão deve expor suas dúvidas, procurar esclarecê-las e dar sua opinião (se é contra ou a favor).	
A26	26	F	S		x		x			Escolheria a letra A. Do mesmo modo. Está clara, é assim, para haver um êxito global.		Para o avanço do conhecimento e a regulação comercial dos transgênicos.	Não. É preciso participação dos agricultores, os que lidam.	Temos que concordar que o bem estar da humanidade deve ser colocado em primeiro lugar.	Cumprir com as regras dos rótulos.

Estudante	idade	Sexo	Já é professor?	Respostas à questão 2						Respostas à questão 3		Respostas à questão 4			
				2a	2b	2c	2d	2e	2f	3 ^a	3B	4 ^a	4b	4c	4d
A27	21	F	N	x	x	x		x		(escolheu a A)		Orientar sobre os benefícios, os malefícios provocados aos seres humanos e ao meio ambiente pelos transgênicos.	Não. Porque envolve toda a produção e comercialização do produto.	O bem estar da humanidade deve sempre estar em primeiro lugar.	Tentar manter-se bem informado sobre o assunto, assim a pessoa terá uma opinião própria.
A28	26	M	N		x					B. Mudaria alguma coisa complementando o que o conhecimento não se ganha da noite para o dia e sim se conquista ao passar do tempo.	Aplicar seus conhecimentos para a biossegurança do planeta.	Sim. Porque não sabemos o que esses produtos podem causar no futuro.	Que se deve pensar primeiro no bem estar da humanidade e depois visar o lucro.	Cada um dar a sua opinião sobre o tema, pois somos todos cidadãos e temos o direito de opinar.	
A29	21	M	N		x			x	Escolheria a alternativa A.		Esclarecer a verdade sobre os transgênicos.	Sim. Pois eles sabem o que é cientificamente correto.	Concordo.	O cidadão deve decidir a partir da explicação dos cientistas.	
A30	21	F	N	x	x		x		A. Que todo conhecimento que a gente obtém, nós temos que buscar, a gente não traz dentro de nós, temos que ir atrás.		Ajudou a separar duas atitudes básicas e distintas.	Sim. Eles fizeram testes, estudaram sobre o assunto e sabem dizer se tem que ser proibidos ou não.	Se o bem estar da humanidade não for afetado e ocorrer lucros com isso, eu sou a favor.	Os cidadãos deverão aceitar e levar a sério caso fosse proibido a liberação dos transgênicos, seguir o que for determinado por lei.	
A31	26	F	N		x	x		x	Escolheria o texto "A", colocaria mais exemplos práticos, mas o texto está muito bom.		Buscar respostas para perguntas. Descobrir se faz mal ou não, o uso de transgênicos. Esclarecimentos à população.	Eu acredito que sim. Pois os cientistas têm o poder de pesquisa, descoberta dos malefícios ou benefícios do uso dos transgênicos.	Acho um absurdo! Colocar em risco a saúde humana a troco de lucro financeiro. Quem ganha com isto é a Monsanto.	Não ficar calado. Ir atrás de informações, discussões. Para todos os efeitos, não deixaria meus familiares consumirem produtos desta origem.	

ANEXO 4

Grade Curricular do curso de Ciências Biológicas/Licenciatura 2001/03

CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - LICENCIATURA

Dia do Professor: 15 de Outubro

Coordenação de Curso:

· Curso de Ciências Biológicas Licenciatura:

Erechim: Rozane Maria Restello

Frederico Westphalen: Rosângela Ferigollo Binotto

Santo Ângelo: Cristina Pedron Barros

Santiago: Sandra Maria Bochi da Silva Volk



Situação Legal: Reconhecido Erechim, Frederico Westphalen, Santo Ângelo, Santiago - Portaria 84/95

Integralização: Mínimo – 4 anos Médio - 4,5 anos Máximo – 7 anos

Turno: Noturno

Oferta de Vagas: Erechim, Frederico Westphalen, Santo Ângelo, Santiago

OBJETIVO GERAL

Capacitar o egresso para atuar em escola e desenvolver ciência, no ensino fundamental, biologia no ensino médio, com consciência crítica e que atue de acordo com os valores universais e princípios éticos e como biólogo nas suas múltiplas atividades, notadamente na docência, pesquisa científica e tecnológica.

PERFIL DO PROFISSIONAL

Formação básica, ampla e sólida, com adequada fundamentação teórico-prática que inclua o conhecimento profundo do padrão da diversidade dos seres vivos, bem como sua organização em diferentes níveis, suas relações filogenéticas e evolutivas, suas respectivas distribuições e relações com o ambiente em que vive.

CAMPO DE ATUAÇÃO

- Atuação em pesquisa básica aplicada nas diferentes áreas das Ciências Biológicas.
- Desenvolvimento de atividades educacionais em diferentes níveis.
- Elaboração e execução de projetos.
- Utilização do conhecimento socialmente acumulado na produção de novos conhecimentos.



GRADE CURRICULAR - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - LICENCIATURA

Situação Legal: Reconhecido

Currículo Pleno: Turmas: 2001 a 2003 (em atividade parcial)

Integralização: Mínimo - 4 anos / Médio - 4,5 anos / Máximo - 7 anos

Carga Horária Total: 2.910 h/a (194 créditos) 300 h/a (Prática de Ensino)

Turno: Noturno

2001/03

SEMESTRE	CÓDIGO	DISCIPLINAS	C.H.	CRÉD.	PRÉ-REQ.
1º SEMESTRE	10-101	Matemática Aplicada	T. P.	04	
	72-271	Metodologia Científica e da Pesquisa	60	04	
	81-101	Língua Portuguesa	60	04	
	10-310	Química Geral e Inorgânica - A	30 30	04	
	24-115	Citologia	45 15	04	
2º SEMESTRE	20-132	Anatomia Humana I	40 20	04	
	15-239	Química Orgânica I	45 15	04	
	24-101	Genética Básica	45 15	04	
	10-205	Física Geral I	45 15	04	
	70-172	Psicologia da Aprendizagem A	60	04	
35-191	Computação I	30 30	04		
3º SEMESTRE	10-206	Física Geral II	45 15	04	
	24-163	Bioquímica	45 15	04	15-239
	24-102	Citogenética e Genética Humana	45 15	04	24-115,24-101
	20-117	Fisiologia Humana	45 15	04	
	20-118	Histologia	40 20	04	
4º SEMESTRE	24-111	Botânica I	30 30	04	
	24-103	Genética de Populações e Evolução	45 15	04	24-102
	24-116	Embriologia	45 15	04	
	72-377	Estrutura e Funcionamento da Educação Básica I e II	60	04	
	20-119	Biofísica I	40 20	04	
20-139	Prática de Ensino I - A	45	03		
5º SEMESTRE	24-113	Botânica III	40 20	04	
	24-121	Zoologia I	45 15	04	
	72-115	Didática I	45 15	04	
	14-154	Geologia	50 10	04	
	24-155	Bioestatística	45 15	04	
20-140	Prática de Ensino I - B	45	03	20-139	
6º SEMESTRE	24-104	Ecologia I	50 10	04	
	24-114	Botânica IV	30 30	04	24-111
	24-122	Zoologia II	40 20	04	24-121
	20-120	Metodologia do Ensino de Ciências Naturais e Biologia	60 30	06	70-172/72-115
	20-141	Prática de Ensino I - C	45	03	20-140
7º SEMESTRE	24-123	Zoologia III	40 20	04	
	24-112	Botânica II	45 15	04	24-104
	24-131	Ecologia II	45 15	04	
	70-104	Introdução à Filosofia da Ciência	60	04	
	20-122	Microbiologia Básica	45 15	04	
20-142	Prática de Ensino I - D	45	03	20-141	
8º SEMESTRE	20-123	Microbiologia e Imunologia	45 15	04	20-122
	44-135	Programas de Saúde	45 15	04	
	20-127	Parasitologia I - A	50 10	04	24-121
	20-143	Prática de Ensino II - A: Ciências no Ensino Fundamental	60	04	*
	20-125	Trabalho de Graduação I Eletiva	20 10	02	
		60	04		
9º SEMESTRE	24-132	Ecologia III	50 10	04	24-104
	24-168	Paleontologia	50 10	04	
	20-126	Trabalho de Graduação II	15 15	02	20-125
	20-144	Prática de Ensino II - B: Biologia Eletiva	60	04	**
DISCIPLINAS ELETIVAS	20-149	Aquacultura	60	04	
	20-130	Biologia do Solo	45 15	04	
	20-131	Recursos Hídricos	45 15	04	
	20-128	Biotechnology	30 30	04	24-101
	20-124	Meio Ambiente e Desenvolvimento	60	04	24-132
	20-121	Educação Ambiental	40 20	04	24-132/72-115
	20-129	Botânica V	40 20	04	24-114
	73-400	Realidade Brasileira	60	04	
	20-165	Planejamento e Conservação Ambiental	60	04	
			60	04	

* 72-115,24-104,24-112,24-113,24-121,24-123,20-120,10-310,10-205,10-206,20-132,72-377, 70-172,20-139,20-140

** 72-115,24-101,24-115,24-104,24-112,24-113,24-114,24-121,24-123,20-117,20-132,20-127,72-377, 70-172,20-141,20-142,20-143



ANEXO 5

Grade Curricular do curso de Ciências Biológicas/Licenciatura 2004/05


GRADE CURRICULAR - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - BACHARELADO

Situação Legal: Autorizado

Currículo Pleno: Turmas 2004 e 2005

Integralização: Mínimo – 3,5 anos / Médio - 4 anos / Máximo - 6 anos

Carga Horária: 3360 h/a (224 créditos) 360 h/a (Estágio)

200h (Atividades Complementares)

Carga Horária Total: 3560 h/a

Turno: Diurno/Noturno


2004/05

SEMESTRE	CÓDIGO	DISCIPLINAS	CARGA H		CRÉD	PRE-REQUISITO
			T.	P.		
1º SEMESTRE	10-301	Química Geral e Inorgânica	60	30	06	
	20-178	Biologia Celular	40	20	04	
	20-187	Instrumentação Laboratorial		30	02	
	72-271	Metodologia Científica e da Pesquisa	60		04	
	10-231	Física para Ciências	45	15	04	
	10-101	Matemática Aplicada	60		04	
2º SEMESTRE	20-132	Anatomia Humana I	40	20	04	
	15-239	Química Orgânica I	45	15	04	20-178
	24-116	Embriologia	60		04	
	14-154	Geologia	45	15	04	
	81-101	Língua Portuguesa	60		04	10-231
	20-189	Biofísica I – A	45	15	04	
3º SEMESTRE	20-188	Bioquímica A	60	30	06	15-239
	20-214	Genética Básica B	75		05	20-178
	20-111	Microbiologia Básica	45	30	05	
	20-190	Botânica I – B	30	60	06	
	20-151	Fisiologia Humana	60	15	05	20-189
	20-194	Imunologia	30	15	03	
4º SEMESTRE	20-195	Zoologia I – B	45	30	05	
	20-217	Biologia Molecular	60		04	20-178; 20-214
	20-191	Botânica II – B	40	20	04	20-190; 20-188; 20-189
	24-155	Bioestatística	60		04	
	70-104	Introdução a Filosofia da Ciência	60		04	
	20-102	Histologia Especial Eletiva	60	30	06	20-178
5º SEMESTRE			45		03	
	20-192	Botânica III – B	30	60	06	20-190
	20-196	Zoologia II – B	45	45	06	20-195
	20-198	Ecologia I – A	60		04	
	20-127	Parasitologia I – A	45	15	04	
	24-103	Genética de Populações e Evolução Eletiva	60		04	20-214
6º SEMESTRE			45		03	*
	20-125	Trabalho de Graduação I	30		02	
	20-193	Botânica IV – B	30	30	04	20-190
	20-197	Zoologia III – B	60	30	06	
	20-199	Ecologia II – A (Biogeografia e Biologia da Conservação)	45	15	04	20-198; 24-103
	20-215	Genética Molecular	30	15	03	20-217
7º SEMESTRE	20-200	Ecologia I – B	45		03	20-198
	20-218	Trabalho de Graduação II – B Eletiva		60	04	20-125; 20-198; 20-187
			45		03	
			45		03	
	20-216	Melhoramento Genético e Biotecnologia	45	15	04	20-215; 20-191
	24-168	Paleontologia	45	15	04	
8º SEMESTRE	20-221	Planejamento Ambiental e Ecologia da Paisagem	45	15	04	20-200
	20-219	Trabalho de Graduação III – B	30	30	04	20-218
	20-201	Ecologia de Campo	15	45	04	**
	20-202	Ecologia II – B (EIA – RIMA / Licenciamento Ambiental)	30	15	03	20-192; 20-197; 20-199; 20-200
		Eletiva	45		03	
		Eletiva	45		03	
DISCIPLINAS ELETIVAS	20-220	Estágio Supervisionado		360	24	***
	20-121	Educação Ambiental	60		04	20-198; 70-104
DISCIPLINAS ELETIVAS	20-203	Limnologia e Recursos Hídricos	30	15	03	20-198
	20-223	Fitogeografia Brasileira	30	15	03	20-199
	20-204	Ecologia de Insetos e Controle Biológico	30	15	03	20-196
	20-209	Agroecologia	30	15	03	
	20-205	Ecologia vegetal	30	15	03	20-192; 20-198
	20-226	Tópicos de Bioquímica	30	15	03	20-188
	20-208	Tratamento de Resíduos	30	15	03	20-111; 20-188
	20-212	Manejo de Fauna Silvestre	15	30	03	20-197; 20-199
	20-206	Ecologia Animal	30	15	03	20-198; 20-197
	20-211	Meio Ambiente e Comunicação	30	15	03	
	20-207	Gestão Ambiental	45		03	20-200
	20-222	Planejamento Ambiental Urbano	30	15	03	20-200
	20-225	Introdução a Sistemática Filogenética	45		03	20-192; 20-193; 20-196; 20-197
	20-224	Biotecnologia Experimental	15	30	03	20-215
	20-210	Ecofisiologia Vegetal	30	15	03	20-191
	20-227	Valoração Ambiental	45		03	20-198
73-400	Realidade Brasileira	60		04		
60-362	Gestão, Empreendedorismo e Negócios	45		03		

* 72-271; 24-155; 20-191; 20-195; 20-111; 20-217

** 20-199; 20-192; 20-196; 20-197; 24-155

*** 20-216; 20-200; 20-219; 20-201; 20-202; 20-221



ANEXO 6

Currículo Básico do PEIES, Santa Maria, v. 5, 1999

<p>MAGNÓLI, Demétrio. <u>O Mundo Contemporâneo: Relações Internacionais: 1945-2000</u>. São Paulo: Moderna, 1996.</p> <p>MELLO, Leonel Itaussu A. & COSTA, Luís César Amad. <u>História Antiga e Medieval</u>. São Paulo: Scipione, 1993.</p> <p>MOTA, Myriam Becho et al. <u>História das Cavernas ao Terceiro Milênio</u>. São Paulo: Moderna, 1997.</p> <p>NADAI, Elza; NEVES, Joana. <u>História Antiga e Medieval</u>. 7 ed. São Paulo: Saraiva, 1990.</p> <p>_____. <u>História do Brasil</u>. 16 ed. São Paulo: Saraiva, 1995.</p> <p>_____. <u>História Geral, Moderna e Contemporânea</u>. 7 ed. São Paulo: Saraiva, 1990.</p> <p>PAZZINATO, Alceu Luiz & SENISE, Maria Helena Valente. <u>História Moderna e Contemporânea</u>. São Paulo: Ática.</p> <p>SCHMIDT, Mário. <u>Nova História Crítica da América</u>. São Paulo: Nova Geração, 1993.</p> <p>_____. <u>Nova História Crítica do Brasil</u>. São Paulo: Nova Geração, 1993.</p> <p>VICENTINO, Cláudio. <u>História Geral</u>. São Paulo: Scipione, 1994.</p> <p>_____. <u>História do Brasil</u>. São Paulo: Scipione, 1997.</p> <p>PEDRO, Antônio. <u>História da Civilização Ocidental: integrada (geral e Brasil)</u>. São Paulo: FTD, 1997.</p>	
<h2>BIOLOGIA</h2> <h3>1ª SÉRIE</h3>	
<h4>CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS</h4>	<h4>NÍVEIS DE EXIGÊNCIA</h4>
<p>1 CARACTERÍSTICAS DOS SERES VIVOS</p>	<p>1 Caracterizar os seres vivos, comparar com os seres brutos.</p>
<p>2 ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DOS SERES HUMANOS</p>	<p>2.1 Reconhecer os tipos de alimentos e os nutrientes (protídios, glicídios, vitaminas, lipídios e água) Citar os tipos de alimentos, relatar suas funções</p> <p>2.1.1 Explicitar relações entre alimentação x vitaminas x doenças de carência. Descrever os princípios gerais de uma boa alimentação</p> <p>2.2 Identificar as grandes funções vitais: nutrição e digestão, respiração, circulação e transporte, excreção, sistemas integradores nervoso e endócrino. Citar e descrever tecidos, estrutura e funcionamento dos sistemas vitais. Relacionar tecidos x órgãos x sistemas</p> <p>2.2.2 Reconhecer a estrutura e o funcionamento do aparelho reprodutor humano. Citar e descrever o funcionamento do aparelho reprodutor masculino e feminino. Explicar e citar etapas do ciclo reprodutivo feminino Estabelecer relações entre sexualidade x sexo x gravidez x métodos anticoncepcionais Identificar as doenças sexualmente transmissíveis e as formas preventivas</p>
<p>3 CITOLOGIA</p> <p>3.1 Generalidades</p> <p>3.2 Característica de célula procariótica e eucariótica</p> <p>3.3 Envoltórios celulares</p> <p>3.3.1 Membrana plasmática: noções de evolução, estrutura, trocas com o meio, adaptações</p> <p>3.3.2 Parede celular: estrutura e funções</p> <p>3.4 Hialoplasma - sistema de endomembranas e demais estruturas</p> <p>3.5 Citoesqueleto e estruturas microtubulares, mecanismo de movimentação celular</p>	<p>3.1 Caracterizar célula (conceito, morfologia, tamanho)</p> <p>3.2 Identificar e diferenciar célula procariota e eucariota Explicar a origem da célula eucariota a partir da procariota</p> <p>3.3.1 Identificar a estrutura da membrana plasmática Explicar a continuidade estrutural e funcional entre a membrana e o sistema de endomembrana. Explicar e descrever as trocas da membrana com o meio Descrever a organização geral da membrana e a relação com o todo</p> <p>3.3.2 Identificar a estrutura da parede celular, localizá-la na célula, determinar sua ocorrência.</p> <p>3.4 Reconhecer os componentes do hialoplasma (composição físico-</p>

<p>3.6 Núcleo: estrutura do núcleo interfásico, funções</p> <p>3.6.1 Cromossomos (morfologia, números haplóide e diplóide, composição química)</p> <p>3.7 Reprodução celular: mitose – meiose</p>	<p>química, sistema de endomembranas e demais estruturas). Citar, descrever e comparar as estruturas do sistema de endomembranas e das organelas. Identificar as funções de cada uma. Mencionar as relações entre elas e a continuidade no funcionamento celular. Citar etapas, substâncias consumidas e produzidas e local de ocorrência da fotossíntese e respiração celular.</p> <p>3.5 Identificar o citoesqueleto quanto à estrutura e função: microfilamentos e microtúbulos. Comparar esse mecanismo com o funcionamento de outras organelas.</p> <p>3.6 Exemplificar a ocorrência do núcleo quanto à forma, tamanho, número. Citar e descrever a estrutura e funções do núcleo interfásico. Comparar o núcleo interfásico com o núcleo durante a divisão celular. Explicar, citar fases e refazer experimentos quanto ao funcionamento do núcleo interfásico.</p> <p>3.7 Identificar os tipos de divisão celular. Citar e descrever as fases da mitose e meiose, comparando-as. Explicar e citar os resultados e a finalidade de cada tipo de divisão celular. Exemplificar células em que ocorrem mitose e meiose. Explicitar relações entre meiose x permuta x reprodução sexuada.</p>
<p style="text-align: center;">Interdisciplinaridade</p> <p>Língua Estrangeira Moderna: Todos os itens que tratam da função da leitura relacionados ao programa de 1.ª série de Biologia.</p> <p>Língua Portuguesa: Estudo da língua, em especial a estrutura de palavras, relacionada à estrutura e funcionamento dos seres humanos.</p> <p>Química: Notação e nomenclatura dos elementos químicos relacionados à estrutura e funcionamento dos seres humanos.</p>	<p style="text-align: center;">Contextualização</p> <p>Relacionar a simbologia química à dos alimentos, pesquisar e levantar dados sobre tipos de alimentos usados com maior frequência, sobre conservantes, corantes e índices de mortalidade infantil relacionados a problemas de alimentação.</p>
2ª SÉRIE	
<p>1 REPRODUÇÃO HUMANA</p> <p>1.1 Gametogênese</p> <p>1.2 Fecundação</p> <p>1.3 Embriologia</p>	<p>1.1 Identificar os diferentes processos de formação dos gametas, indicar as etapas, números de cromossomos, nomes das células, divisões celulares. Comparar a espermatogênese com a ovogênese.</p> <p>1.2 Identificar e descrever o processo da fecundação.</p> <p>1.3 Reconhecer as diferentes etapas do desenvolvimento embrionário, dizer o nome das estruturas formadas durante o desenvolvimento embrionário. Comparar embriões diploblásticos e triploblásticos, considerando a presença ou ausência de celoma. Identificar os diferentes anexos embrionários e suas diferentes funções. Mencionar o destino dos anexos embrionários. Identificar a estrutura e reconhecer os diferentes tipos de cromossomos, reconhecer o número haplóide e diplóide, identificar a composição química dos cromossomos.</p>
<p>2 GENÉTICA</p> <p>2.1 Ácidos nucleicos (DNA - RNA): estrutura e função</p> <p>2.2 Fluxo de informação genética: replicação, transcrição e síntese protéica</p> <p>2.3 Conceito e localização de gene</p> <p>2.4 Herança mendeliana (mono e diíbridismo)</p> <p>2.4.1 Herança autossômica dominante e recessiva</p> <p>2.4.2 Herança co-dominante</p> <p>2.5 Alelos múltiplos</p> <p>2.6 Genes letais</p> <p>2.7 Determinação do sexo e herança ligada ao sexo</p> <p>2.8 Mutações</p> <p>2.8.1 Generalidades</p> <p>2.8.2 Mutações gênicas e cromossômicas</p> <p>2.8.3 Fatores mutagênicos</p> <p>2.8.4 Conseqüências das mutações</p> <p>2.9 Interações gênicas</p> <p>2.9.1 Herança quantitativa e qualitativa</p> <p>2.9.2 Epistasia</p>	<p>2.1. Identificar estrutura e função dos ácidos nucleicos, reconhecer a composição química dos diferentes ácidos nucleicos e a duplicação dos mesmos.</p> <p>2.2 Relacionar os processos de replicação, transcrição e síntese protéicas.</p> <p>2.3 Definir genes e identificar a localização dos genes.</p> <p>2.4 Definir os conceitos fundamentais, reconhecer monóibridismo e diíbridismo com e sem dominância. Resolver problemas.</p> <p>2.4.1 Reconhecer a herança autossômica dominante e recessiva. Fazer a representação através de genealogias.</p> <p>2.4.2 Resolver problemas que envolvam herança co-dominante.</p> <p>2.5 Identificar alelos múltiplos. Resolver problemas que envolvam alelos múltiplos: determinação da cor da pelagem em coelhos e grupos sanguíneos do sistema ABO. Fazer a representação através de genealogias. Resolver problemas que envolvam herança co-dominante Representar, através de genealogias (heredogramas), os problemas de monóibridismo, diíbridismo.</p> <p>2.6 Reconhecer, exemplificar e resolver problemas, envolvendo genes letais.</p> <p>2.7 Identificar formas de determinação do sexo (Protenor, Lygaeus,</p>

	<p>Abraxas, Fumea, Humana).</p> <p>Reconhecer: herança ligada ao sexo, restrita ao sexo, influenciada pelo sexo.</p> <p>2.8.1 Definir e exemplificar mutações gênicas e cromossômicas.</p> <p>2.8.2 Reconhecer os diferentes tipos de mutações cromossômicas e gênicas.</p> <p>2.8.3 Identificar fatores mutagênicos.</p> <p>2.8.4 Caracterizar anomalia resultante de mutação.</p> <p>2.9.1 Reconhecer a herança quantitativa e qualitativa. Resolver problemas.</p> <p>2.9.2 Reconhecer casos de epistasia. Resolver problemas.</p>
3 TEORIAS DA ORIGEM DA VIDA	3.1 Identificar e comparar as principais teorias de origem da vida.
4 EVOLUÇÃO 4.1 Teorias evolucionistas (Darwinismo, Neodarwinismo e Lamarkismo) 4.2 Seleção natural como mecanismo evolutivo 4.3 Processo de especiação	4.1 Identificar, reconhecer e comparar as teorias evolucionistas. 4.2 Identificar e reconhecer os processos de seleção natural como mecanismo evolutivo. 4.3 Identificar e reconhecer os processos de especiação.
5 ECOLOGIA 5.1 Ecossistema (noção, componentes, noções do meio, habitat, nicho ecológico, biótipo, biosfera, biocenose) 5.1.1 Níveis tróficos (produtores, consumidores, decompositores), cadeia e teia alimentar 5.2 Utilização cíclica da matéria e fluxo de energia 5.3 Ciclos biogeoquímicos: nitrogênio, água, carbono, oxigênio 5.4 Divisões da biosfera 5.4.1 Biociclos: talassociclo, limnociclo, epinociclo 5.4.2 Noções de bioma e principais tipos de biomas brasileiros 5.5 Desequilíbrios ecológicos 5.5.1 Poluição: noções, tipos 5.6 Dinâmica de população 5.6.1 Fatores que caracterizam uma população: densidade, natalidade, mortalidade, migração 5.6.2 Fatores extrínsecos: reguladores do tamanho populacional – clima, alimento, competição 5.7 Noções e tipos de sucessões ecológicas 5.8 Associações entre os seres vivos: mutualismo, protozooperação, inquilinismo, colonialismo, sociedades, comensalismo, predatismo, parasitismo, simfilia 5.9 Ecobioses: mimetismo, camuflagem, adaptações morfológicas	5.1 Identificar um ecossistema, reconhecendo seus componentes e inter-relações. 5.2 Reconhecer a utilização cíclica da matéria e fluxo de energia. 5.3 Identificar e reconhecer as divisões da biosfera. 5.4.1 Denominar os biociclos e mencionar as relações entre os mesmos. 5.4.2 Identificar e distinguir os diferentes biomas brasileiros (flora e fauna) 5.5.1 Citar os principais tipos de poluição. Explicar as causas principais e consequências da poluição, apontando soluções para o controle. 5.6.2 Relatar os fatores extrínsecos e intrínsecos como reguladores do tamanho populacional. 5.7 Citar e descrever os tipos de sucessões ecológicas. 5.8 Citar e comparar as diferentes associações entre os seres vivos: mutualismo, protozooperação, inquilinismo, colonialismo, sociedades, comensalismo, predatismo, parasitismo e amensalismo. 5.9 Identificar e descrever as ecobioses: mimetismo, camuflagem e adaptações morfológicas. 5.10 Identificar e distinguir níveis tróficos. Reconhecer e montar cadeias e teias alimentares.
Interdisciplinaridade Geografia: A organização do espaço geográfico e a população mundial, sua estrutura, crescimento e distribuição, a explosão demográfica e seus problemas de alimentação, bem como sua dinâmica e conflitos, estabelecendo suas relações com a ecologia. O espaço da produção, quanto às suas atividades industriais e agropecuárias e suas relações com a ecologia. Química: O deslocamento do equilíbrio segundo o princípio de Le Chatelier, a influência da pressão, da temperatura e da concentração no equilíbrio químico e suas relações com a ecologia.	Contextualização Visitas a indústrias. Trilhas ecológicas. Publicações (jornais, artigos científicos, periódicos). Estudos sobre os efeitos da chuva ácida, poluição, efeito estufa.
3ª SÉRIE	
1 TAXONOMIA 1.1 Noções fundamentais 1.1.1 Conceito de taxonomia e sistemática 1.1.2 Regras de classificação 1.1.3 Níveis taxonômicos: exemplos 1.1.4 Classificação geral dos seres vivos (sistema de classificação de WI	1.1 Reconhecer as noções fundamentais de taxonomia. 1.1.1. Definir taxonomia e sistemática. 1.1.2 Identificar e reconhecer as regras de classificação. 1.1.3 Identificar e associar os níveis taxonômicos. 1.1.4 Identificar o sistema de classificação geral dos seres vivos. 1.2.1. Definir vírus. 1.2.2. Reconhecer e descrever as características de vírus.

<p>ttaker)</p> <p>1.2. Virus</p> <p>1.2.1. Conceito</p> <p>1.2.2. Características</p> <p>1.2.3 Tipos principais de doenças (AIDS, em especial)</p> <p>1.3. Reino Monera</p> <p>1.3.1. Características</p> <p>1.3.2. Divisão Cianofíceas: características, estrutura, tipos, reprodução</p> <p>1.3.3 Divisão Bacteriófita: características, estruturas, tipos, reprodução, doenças bacterianas</p> <p>1.4 Reino Protista</p> <p>1.4.1 Características</p> <p>1.4.2 Algas (quadro comparativo)</p> <p>1.4.3 Filo Protozoa: características, classes, exemplos, principais endemias</p> <p>1.5. Reino Fungi</p> <p>1.5.1. Características</p> <p>1.5.2. Classificação (divisões e classes)</p> <p>1.5.3. Importância dos fungos para o homem e o meio</p> <p>1.5.4. Líquens</p> <p>1.6. Reino animal</p> <p>1.6.1. Diversidade e forma animal</p> <p>1.6.2. Critério de organização dos animais</p> <p>1.6.2.1. Níveis de organização: simetria, analogia, homologia</p> <p>1.6.3. Classificação geral</p> <p>1.6.4. Distribuição dos animais em grupos (organização morfológica e funcional, habitat, relações com outros seres, endemias causadas, importância, principais classes e representantes dos filos)</p> <p>1.6.4.1. Filo Porífera</p> <p>1.6.4.2. Filo Cnidária</p> <p>1.6.4.3. Filo Platyhelminthes</p> <p>1.6.4.4. Filo Nematoda</p> <p>1.6.4.5. Filo Mollusca</p> <p>1.6.4.6. Filo Annelida</p> <p>1.6.4.7. Filo Arthropoda</p> <p>1.6.4.8. Filo Echinoderma</p> <p>1.6.4.9. Filo Chordata</p> <p>1.6.5. Estudo dos vertebrados (estudo das características, morfologia, habitat, relação com outros seres, importância e principais representantes das superclasses dos vertebrados)</p> <p>1.6.5.1. Peixes (classes Agnatha, Condrichthyes, Osteichthyes)</p> <p>1.6.5.2. Tetrápoda (grupos: Amphibia, Reptilia, Aves, Mammalia)</p> <p>1.6.6 Estudo anatômico comparado dos sistemas de vertebrados (tegumentário, digestório, circulatório, respiratório, excretor, nervoso, esquelético, reprodutor)</p> <p>1.7. Reino Plantae</p> <p>1.7.1. Características fundamentais e aspectos evolutivos dos grupos vegetais</p> <p>1.7.1.1. Algas</p> <p>1.7.1.2. Briófitas</p> <p>1.7.1.3. Pteridófitas</p> <p>1.7.1.4. Gimnospermas</p> <p>1.7.1.5. Angiospermas</p>	<p>1.2.3. Reconhecer e associar as principais doenças virais.</p> <p>1.3. Definir o Reino Monera.</p> <p>1.3.1. Reconhecer e descrever as características do Reino Monera.</p> <p>1.3.2. Identificar e descrever as características, as estruturas da Divisão Cianofíceas, citar os tipos de reprodução.</p> <p>1.3.3 Reconhecer, descrever e citar as características, as estruturas e os tipos de bactérias.</p> <p>Identificar as doenças bacterianas.</p> <p>1.4 e 1.4.1. Identificar e citar as características do Reino Protista.</p> <p>1.4.2. Citar e descrever as principais características das algas.</p> <p>Comparar os diferentes filos de algas.</p> <p>1.4.3. Reconhecer e citar as principais características e classes do Filo Protozoa</p> <p>Citar exemplos e relatar as principais endemias do Filo Protozoa.</p> <p>1.5.1. Citar e descrever as principais características do Reino Fungi.</p> <p>1.5.2. Identificar e comparar os fungos quanto à classificação, estrutura e diversidade.</p> <p>1.5.3. Reconhecer a importância dos fungos para o homem e para o meio.</p> <p>1.5.4. Caracterizar líquens.</p> <p>1.6.1. Reconhecer as principais formas e diversidades existentes entre os animais.</p> <p>1.6.2. e 1.6.2.1. Reconhecer e comparar os critérios de organização dos animais quanto à simetria, analogia e homologia.</p> <p>1.6.3. Reconhecer e identificar os principais filos e classes do Reino Animal.</p> <p>1.6.4.1. Identificar e descrever a organização morfológica e funcional, o habitat, a importância, as principais classes e representantes do Filo Porífera.</p> <p>1.6.4.2. Identificar e descrever a organização morfológica e funcional, o habitat, a importância, as principais classes e representantes do Filo Cnidária.</p> <p>1.6.4.3. Identificar e descrever a organização morfológica e funcional, o habitat, a importância, as principais classes e representantes do Filo Platyhelminthes</p> <p>Relatar e descrever os ciclos vitais das principais endemias causadas por platelmintos.</p> <p>1.6.4.4. Identificar e descrever a organização morfológica e funcional, o habitat, a importância, as principais classes e representantes do Filo Nematoda.</p> <p>Relatar e descrever os ciclos vitais das principais endemias causadas por nematódios.</p> <p>1.6.4.5. Identificar e descrever a organização morfológica e funcional, o habitat, a importância, as principais classes e representantes do Filo Mollusca.</p> <p>1.6.4.6. Identificar e descrever a organização morfológica e funcional, o habitat, a importância, as principais classes e representantes do Filo Annelida.</p> <p>1.6.4.7. Identificar e descrever a organização morfológica e funcional, o habitat, a importância, as principais classes e representantes do Filo Arthropoda.</p> <p>Comparar as diferentes classes do Filo Arthropoda quanto às características gerais.</p> <p>1.6.4.8. Identificar e descrever a organização morfológica e funcional, o habitat, a importância, as principais classes e representantes do Filo Echinoderma.</p> <p>1.6.4.9. Identificar e descrever as principais características do Filo Chordata.</p> <p>1.6.5. Identificar e descrever as características, a morfologia, o habitat, a importância e relações com o meio dos vertebrados.</p> <p>1.6.5.1. Identificar e descrever as características, a morfologia, o habitat, a importância e as relações com o meio dos Peixes.</p> <p>Comparar as classes da superclasse Peixes.</p> <p>1.6.5.2. Identificar e descrever as características morfológicas, o habitat, a importância e as relações com o meio dos Tetrápodos.</p> <p>Comparar as classes da superclasse Tetrápoda (Anfíbios - Répteis - Aves - Mamíferos).</p> <p>1.6.6 Comparar os sistemas tegumentário, digestório, circulatório, excretor, nervoso, esquelético e reprodutor de Aves e Mamíferos.</p> <p>1.7. Definir Reino Plantae.</p> <p>1.7.1. Reconhecer as características fundamentais do Reino Plantae.</p> <p>Descrever os aspectos evolutivos dos grupos vegetais.</p> <p>1.7.1.1. Identificar as características das algas, descrever os tipos de</p>
---	---

	<p>algas e tipos de reprodução.</p> <p>1.7.1.2. Identificar as características das Briófitas, citar exemplos de Briófitas e o ciclo reprodutivo.</p> <p>1.7.1.3. Identificar as características da Pteridófitas. Comparar os ciclos reprodutivos com as Algas e Briófitas.</p> <p>1.7.1.4. Identificar e citar exemplos de Gimnospermas. Esquematizar o ciclo reprodutivo e compará-lo com os grupos anteriores.</p> <p>1.7.1.5 Identificar as características das Angiospermas. Reconhecer o ciclo reprodutivo. Comparar e identificar monocotiledôneas e dicotiledôneas. Esquematizar o ciclo reprodutivo e compará-lo com os grupos anteriores.</p>
<p>2 BIOVEGETAL</p> <p>2.1. Tecidos vegetais</p> <p>2.1.1. Meristemas</p> <p>2.1.2. Tecidos de proteção</p> <p>2.1.3. Parênquimas</p> <p>2.1.4. Tecidos de sustentação</p> <p>2.1.5. Tecidos de condução</p> <p>2.2.1. Raiz: morfologia externa, fisiologia (absorção de água e sais minerais)</p> <p>2.2.2. Caule: morfologia externa, fisiologia (transporte de água e sais minerais)</p> <p>2.2.3. Folha: morfologia externa e funções (fotossíntese, respiração, transpiração e gutação)</p> <p>2.2.4. Flor (verticilos florais, polinização e fecundação)</p> <p>2.2.5. Fruto (origem, partes, conceitos de fruto carnoso e seco, partenocarpia)</p> <p>2.2.6. Semente (origem, partes, disseminação)</p>	<p>2.1.1. Reconhecer as características dos Meristemas e associá-las às funções.</p> <p>2.1.2. Reconhecer as características dos tecidos de proteção e associá-las às funções.</p> <p>2.1.3. Reconhecer as características dos Parênquimas e associá-las às funções. Identificar tipos de Parênquimas (aquíferos e aeríferos)</p> <p>2.1.4. Reconhecer as características dos tecidos de sustentação e associá-los às funções.</p> <p>2.1.5. Reconhecer as características dos tecidos de condução e associá-las às funções.</p> <p>2.2.1. Identificar as características morfológicas externas da raiz e associá-las às funções. Descrever o processo de absorção de água e sais minerais pela raiz.</p> <p>2.2.2. Identificar as características morfológicas externas do caule e associá-las à função. Esquematizar as características morfológicas externas do caule e associá-las à função. Descrever o processo de transporte de água e sais minerais através dos vasos condutores de seiva bruta e elaborada.</p> <p>2.2.3. Identificar as características morfológicas externas das folhas e associá-las à função. Associar os processos de gutação, transpiração, fotossíntese e respiração como funções da folha.</p> <p>2.2.4. Identificar as características morfológicas da flor e associá-las à função. Descrever os tipos de polinização.</p> <p>2.2.5. Identificar a origem e as características morfológicas do fruto e associá-las à função. Identificar os frutos Partenocápicos.</p> <p>2.2.6. Reconhecer a origem e as partes das sementes e associá-las às funções. Citar as formas de disseminação.</p>
BIBLIOGRAFIA SUGERIDA	
<p>para o professor</p> <p>AMABIS, J. M. e MARTHO, G. R. <u>Biologia das Células</u>. vol. 1, 1 ed. São Paulo: Moderna, 1994.</p> <p>_____. <u>Biologia dos Organismos</u>. vol. 2, 1 ed. São Paulo: Moderna, 1994.</p> <p>_____. <u>Biologia das Populações</u>. vol. 3, 3 ed. São Paulo: Moderna, 1994.</p> <p>AVANCINI BRITO, E. e FAVARETTO, A. <u>Biologia - uma abordagem evolutiva e ecológica</u>. São Paulo: Moderna, 1997.</p> <p>BURNS. <u>Genética</u>. 6 ed. Guanabara-Koogan, 1990.</p> <p>CASTRO, Nelson Henrique Carvalho de; TAGLIAFERRI, Túlio de Azevedo; TAGLIAFERRI, Cleide Morsolotto. <u>Biologia</u>. São Paulo: Scipione, 1989. Vol. 1, 2 e 3.</p> <p>CLEFFI, N. <u>Ecologia</u>. Harbra Ltda, 1988.</p> <p>_____. <u>Estrutura e função dos seres vivos</u>. Harbra Ltda, 1989.</p> <p>_____. <u>Genética e evolução</u>. Harbra Ltda, 1989.</p>	<p>para o aluno</p> <p>CÉSAR e CEZAR. <u>Biologia</u> São Paulo: Saraiva, 1996, v.1,3 e 4.</p> <p>DIAS, D. P. <u>Biologia Viva</u>. São Paulo: Moderna, 1996.</p> <p>FONSECA, Albino. <u>Biologia</u>. 37 ed. São Paulo: Ática, 1994.</p> <p>GOWDAK, Demétrio & MATTOS, Neide S. de. <u>Biologia</u>. São Paulo: FTD, 1991.</p> <p>GOWDAK, Demétrio. <u>Biologia</u>. São Paulo: FTD, 1991. Vol. 1, 2 e 3.</p> <p>LOPES, Sonia. <u>Bio</u>. São Paulo: Saraiva, 1992. Vol. 1, 2 e 3.</p> <p>LOPES, Vanoli; SILVEIRA, Maria Joanele; TABARELLI, Zuleika. <u>Biologia num contexto social</u>. 4ª ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 1997.</p> <p>MARTHO, Amabis. <u>Fundamentos da Biologia Moderna</u>. São Paulo: Moderna, 1981.</p> <p>PAULINO, Wilson Roberto. <u>Biologia Atual</u>. São Paulo: Ática, 1990. Vol. 1, 2 e 3.</p> <p>SOARES, José Luis. <u>Biologia Básica</u>. São Paulo: Scipione, 1988. Vol. 1, 2 e 3.</p> <p>_____. <u>Biologia</u>. 2 ed. São Paulo: Scipione, 1991.</p>

ANEXO 7

Currículo Básico do PEIES, Santa Maria, v. 6, 2004

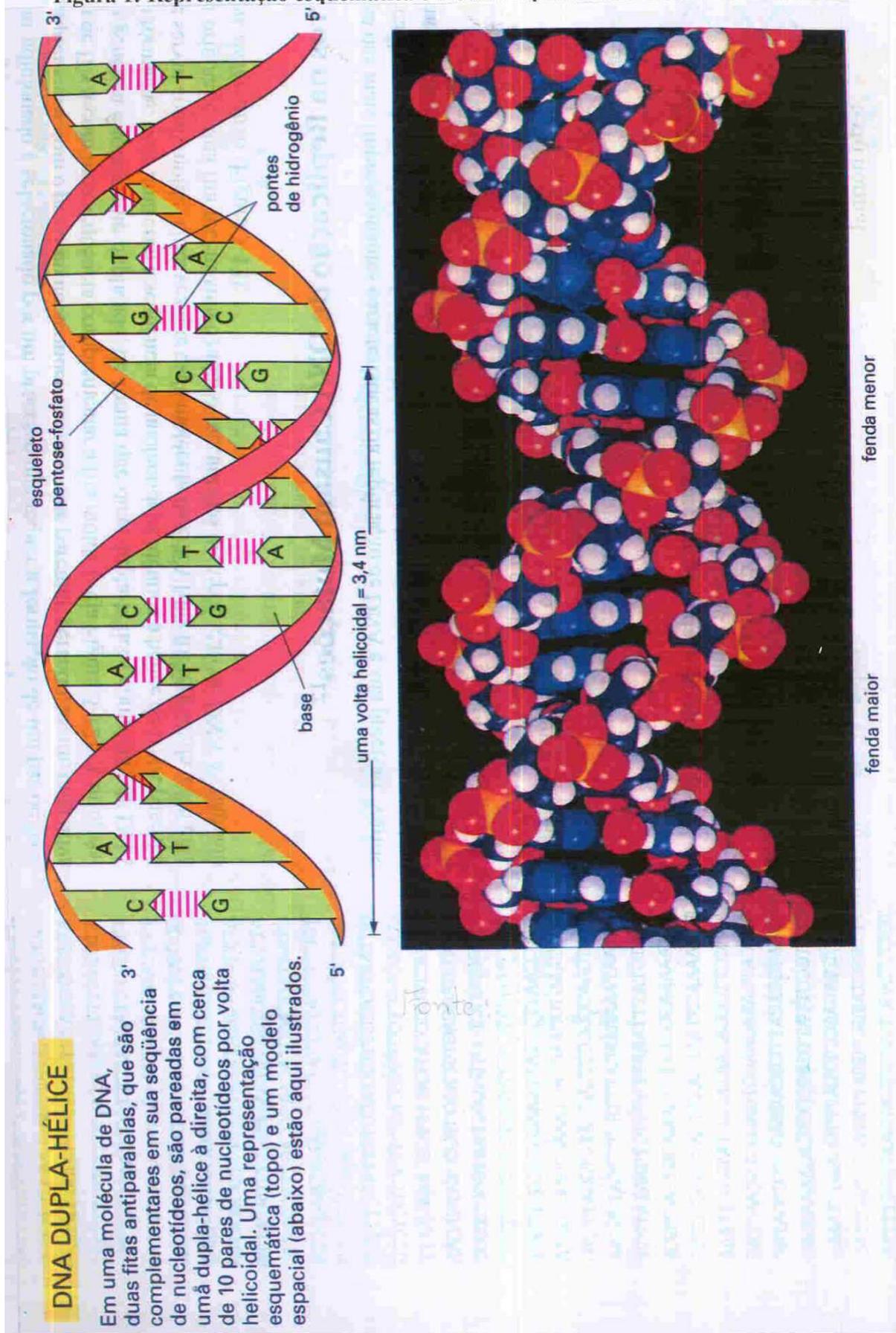
BIOLOGIA	
As ciências biológicas reúnem algumas das respostas às indagações que vêm sendo formuladas pelo ser humano, ao longo de sua história, para compreender a origem, a reprodução, a evolução da vida dos seres vivos em toda sua diversidade de organização e interação.	
1ª SÉRIE – ENSINO MÉDIO	
CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS	NÍVEIS DE EXIGÊNCIA
1 - ECOLOGIA	
1.1 Ecossistema (conceitos básicos população, comunidade, ecossistema, biosfera, habitat, nicho ecológico, componentes bióticos e abióticos do ambiente).	1.1 Identificar um ecossistema, reconhecendo seus componentes e inter-relações.
1.1.1 Níveis tróficos (produtores, consumidores, decompositores), cadeia e teia alimentar.	1.1.1 Identificar e distinguir níveis tróficos, reconhecer e montar cadeias e teias alimentares.
1.1.2 Associações entre os seres vivos: mutualismo, protozooperação, inquilinismo, colonialismo, sociedades, comensalismo, predatismo, parasitismo, simfilia.	1.1.2 Citar e comparar as diferentes associações entre os seres vivos: mutualismo, protozooperação, inquilinismo, colonialismo, sociedades, comensalismo, predatismo e amensalismo.
1.2 Ecobioses: mimetismo, camuflagem, adaptações morfológicas.	1.2 Identificar e descrever as ecobioses: mimetismo, camuflagem e adaptações morfológicas.
1.3 Utilização cíclica da matéria e fluxo de energia.	1.3 Reconhecer a utilização cíclica da matéria e fluxo de energia.
1.4 Divisão da biosfera.	- - -
1.4.1 Noções de bioma e principais tipos de biomas brasileiros.	1.4.1 Identificar e distinguir os diferentes biomas brasileiros (flora e fauna).
1.5 Dinâmica de populações.	- - -
1.5.1 Fatores que caracterizam uma população: densidade, natalidade, mortalidade, migração.	1.5.1 Relatar os fatores extrínsecos e intrínsecos como reguladores do tamanho populacional.
1.5.2 Fatores extrínsecos: reguladores do tamanho populacional – clima, alimento, competição.	- - -
1.6 Noções e tipos de sucessões ecológicas.	1.6 Citar e descrever os tipos de sucessões ecológicas.
1.7 Desequilíbrios ecológicos e impacto humano na biosfera.	1.7 Compreender que a interferência humana em comunidades pode causar desequilíbrios ecológicos.
2 - TAXONOMIA E SISTEMÁTICA	
2.1 Noções fundamentais.	2.1 Reconhecer as noções fundamentais da taxonomia.
3 - VÍRUS	
3.1 Características.	3.1 Reconhecer e descrever as características de vírus.
3.2 Tipos principais de doenças.	3.2 Reconhecer e associar as principais doenças virais.
4 - REINO MONERA	
4.1 Características.	4.1 Reconhecer e descrever as características do Reino Monera.
4.2 Principais doenças bacterianas.	4.2 Identificar as doenças bacterianas.
5 - REINO PROTISTA	
5.1 Características.	5.1 Identificar e citar as características do Reino Protista.
5.2 Algas.	5.2 Citar e descrever as principais características das algas.
5.3 Filo Protozoa: características, exemplos, principais endemias.	5.3 Reconhecer e citar as principais características e endemias do Filo Protozoa.
6 - REINO FUNGI	
6.1 Características.	6.1 Citar e descrever as principais características do Reino Fungi.
6.2 Importância.	6.2 Reconhecer a importância dos fungos, bem como as doenças que causam.
6.3 Líquens.	6.3 Caracterizar líquens.
7 - REINO PLANTAE	
7.1 Características fundamentais e aspectos evolutivos dos grupos vegetais.	7.1 Reconhecer as características fundamentais do Reino Plantae. Descrever os aspectos evolutivos dos grupos vegetais.
7.2 Noções gerais de reprodução do Reino Plantae.	7.2 Reconhecer as formas de reprodução do Reino Plantae.
7.3 Algas.	7.3 Caracterizar as algas.
7.4 Briófitas.	7.4 Caracterizar as briófitas.
7.5 Pteridófitas.	7.5 Caracterizar as pteridófitas.

7.6	Gimnospermas.	7.6	Caracterizar as gimnospermas.
7.7	Angiospermas.	7.7	Caracterizar as angiospermas.
7.8	Morfologia externa e fisiologia da raiz, caule, flor, fruto e semente.	7.8	Compreender a fisiologia da raiz, caule e folha.
2ª SÉRIE – ENSINO MÉDIO			
CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS		NÍVEIS DE EXIGÊNCIA	
1 - REINO ANIMAL			
1.1	Classificação Geral.	1.1	Reconhecer os principais filos do Reino Animal.
1.2	Distribuição dos animais em grupos (organização morfológica e funcional, habitat, endemias, importância, representantes dos filos).	-	
1.2.1	Filo Porifera.	1.2.1	Identificar a organização morfológica e funcional, o habitat e importância do Filo Porifera.
1.2.2	Filo Cnidária.	1.2.2	Identificar a organização morfológica e funcional, o habitat e importância do Filo Cnidária.
1.2.3	Filo Platyhelminthes.	1.2.3	Identificar a organização morfológica e funcional, o habitat e importância do Filo Platyhelminthes. Compreender os ciclos vitais das principais endemias causadas pelos platenintos.
1.2.4	Filo Nematoda.	1.2.4	Identificar a organização morfológica e funcional, o habitat e importância do Filo Nematoda. Compreender os ciclos vitais das principais endemias causadas.
1.2.5	Filo Mollusca.	1.2.5	Identificar a organização morfológica e funcional, o habitat e importância do Filo Mollusca.
1.2.6	Filo Annelida.	1.2.6	Identificar a organização morfológica e funcional, o habitat e importância do Filo Annelida.
1.2.7	Filo Arthropoda.	1.2.7	Identificar a organização morfológica e funcional, o habitat, a importância, as principais classes e representantes do Filo Arthropoda. Comparar as diferentes classes do filo quanto às características gerais.
1.2.8	Filo Echinoderma.	1.2.8	Identificar a organização morfológica e funcional, o habitat e importância do Filo Echinoderma.
1.2.9	Filo Chordata.	1.2.9	Identificar as principais características morfológicas e funcionais, habitat e importância do Filo Chordata.
1.2.9.1	Vertebrados (características morfológicas, habitat, importância e principais representantes).	1.2.9.1	Identificar as características, morfologia, habitat e importância dos vertebrados.
1.2.9.1.1	Peixes (ósseos e cartilagosos).	1.2.9.1.1	Identificar as características morfológicas, habitat e importância da superclasse peixes.
1.2.9.1.2	Tetrápoda (Amphibia, Reptilia, Aves, Mammalia).	1.2.9.1.2	Identificar as características morfológicas, habitat e importância dos tetrápodes.
1.3	Anatomia e fisiologia comparada dos vertebrados.	1.3	Comparar os sistemas tegumentário, digestório, circulatório, excretor, nervoso e reprodutor do Chordata.
2 - NUTRIÇÃO E ALIMENTOS		2	Reconhecer os tipos de alimentos e nutrientes (proteínas, lipídios, glicídios, vitaminas, água e sais minerais) bem como suas funções. Explicitar relações entre alimentação x vitaminas x doenças de carência.
3 - ANATOMIA E FISILOGIA HUMANA			
3.1	Sistema digestório.	3.1 a 3.5	Identificar as grandes funções vitais: nutrição e digestão, respiração, circulação e transporte, excreção, sistemas integradores nervoso e endócrino. Compreender e relacionar tecidos x órgãos x sistemas.
3.2	Sistema respiratório.		
3.3	Sistema cardiovascular.		
3.4	Sistema urinário.		
3.5	Sistema nervoso e endócrino.		
3.6	Sistema reprodutor.	3.6	Reconhecer a anatomia e fisiologia do sistema reprodutor humano. Explicar e citar etapas do ciclo reprodutor feminino. Estabelecer relações entre sexualidade x sexo x gravidez x métodos anticoncepcionais. Identificar as doenças sexualmente transmissíveis e as formas preventivas.
3ª SÉRIE – ENSINO MÉDIO			
CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS		NÍVEIS DE EXIGÊNCIA	
1 - BIOLOGIA CELULAR			
1.1	Característica de célula procariótica e eucariótica.	1.1	Diferenciar célula procariótica e eucariótica. Explicar a origem da célula eucariota a partir da procariota.

1.2	Envoltórios celulares.		
1.2.1	Membrana plasmática: noções de evolução, estrutura, trocas com o meio, adaptações.	1.2.1	Identificar a estrutura da membrana plasmática. Explicar a continuidade estrutural e funcional entre a membrana e o sistema de endomembranas. Explicar e descrever as trocas da membrana com o meio.
1.2.2	Parede celular: estrutura e funções.	1.2.2	Descrever a organização geral da membrana e a relação com o todo. Identificar a estrutura da parede celular; localizá-la na célula e determinar sua ocorrência.
1.3	Hialoplasma: sistema de endomembranas e demais estruturas.	1.3	Reconhecer os componentes do hialoplasma (composição físico-química, sistema de endomembranas e demais estruturas). Citar, descrever e comparar as estruturas do sistema de endomembranas e das organelas, identificando as funções de cada uma. Mencionar as relações entre elas e a continuidade no funcionamento celular. Citar etapas, substâncias consumidas e produzidas e local de ocorrência da fotossíntese e respiração celular.
1.4	Citoesqueleto e estruturas microtubulares, mecanismo de movimentação celular.	1.4	Identificar o citoesqueleto quanto à estrutura e função: microfilamentos e microtúbulos. Comparar esse mecanismo com o funcionamento de outras organelas.
1.5	Núcleo: estrutura do núcleo interfásico, funções.	1.5	Exemplificar a ocorrência do núcleo quanto à forma, tamanho, número. Citar e descrever a estrutura e funções do núcleo interfásico. Comparar o núcleo interfásico com o núcleo durante a divisão celular.
1.5.1	Cromossomos: morfologia, números haplóide e diplóide, composição química.	1.5.1	Identificar a estrutura e reconhecer os diferentes tipos de cromossomos. Reconhecer o número haplóide e diplóide. Identificar a composição química dos cromossomos.
1.5.2	Ácidos nucleicos (DNA-RNA): estrutura e função.	1.5.2	Identificar a estrutura e função dos ácidos nucleicos, reconhecer a composição química dos diferentes ácidos nucleicos.
1.5.3	Fluxo de informação genética: replicação, transcrição e síntese protéica.	1.5.3	Relacionar os processos de replicação, transcrição e síntese protéica.
1.5.4	Conceito e localização de gene.	1.5.4	Definir genes e identificar sua localização.
1.6	Reprodução celular: mitose e meiose.	1.6	Identificar os tipos de divisão celular. Citar e descrever as fases da mitose e meiose, comparando-as. Explicar relações entre meiose x permuta x reprodução sexuada.
1.7	Gametogênese.	1.7	Comparar espermatogênese com ovogênese.
1.8	Fecundação.	1.8	Identificar e descrever o processo de fecundação.
1.9	Embriologia.	1.9	Reconhecer as diferentes etapas do desenvolvimento embrionário.
2 - GENÉTICA			
2.1	Herança mendeliana: mono e díbrido.	2.1	Compreender os conceitos fundamentais da genética.
2.1.1	Herança autossômica dominante/ recessiva/ codominância.	2.1.1	Reconhecer a herança autossômica dominante, recessiva e codominante. Fazer a representação através de genealogias. Interpretar e resolver problemas.
2.2	Alelos múltiplos.	2.2	Identificar alelos múltiplos.
2.3	Genes letais.	2.3	Reconhecer genes letais.
2.4	Determinação do sexo e herança ligada ao sexo.	2.4	Identificar formas de determinação do sexo. Reconhecer herança ligada ao sexo.
2.5	Mutações gênicas e cromossômicas.	2.5	Reconhecer os diferentes tipos de mutações gênicas e cromossômicas.
2.5.1	Fatores mutagênicos.	2.5.1	Identificar fatores mutagênicos.
2.6	Interações gênicas.	2.6	Reconhecer casos de interação gênica.
2.6.1	Herança multifatorial.	2.6.1	Reconhecer a herança multifatorial.
3 - TEORIAS DA ORIGEM DA VIDA			
3		3	Identificar e comparar as principais teorias de origem da vida.
4 - EVOLUÇÃO			
4.1	Teorias evolucionistas (Darwinismo, Neodarwinismo e Lamarckismo).	4.1	Reconhecer e comparar as teorias evolucionistas.
4.2	Seleção natural como mecanismo evolutivo.	4.2	Reconhecer os processos de seleção natural com mecanismo evolutivo.
4.3	Processo de especiação.	4.3	Reconhecer os processos de especiação.
BIBLIOGRAFIAS SUGERIDAS			
Para Professor		Para Aluno	
CARVALHO, H. F. e RECCO-PIMENTEL, S. M. A. <u>Célula</u> . Barueri, São Paulo: Manole, 2001.		AMABIS E MARTHO. <u>Fundamentos da Biologia Moderna</u> . 3ed. Moderna, 2002. Único.	
GRIFFITHS, A. J. e colaboradores. <u>Genética moderna</u> . Rio de Janeiro: Guanabara, 2002.		CHEIDA, Luiz Eduardo. <u>Biologia Integrada</u> . São Paulo: FTD, 2003. Único.	
GUYTON, A. C. <u>Fundamentos de Guyton – tratado de fisiologia médica</u> . Rio de Janeiro: Guanabara, 2002.		GOWDAK, D. & MATTOS, Neide S. de. <u>Biologia</u> . São Paulo: FTD, 1991. Único.	
ODUM, E. <u>Ecologia</u> . Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.		LINHARES, Sérgio & GEWANDSZNAJDER, Fernando. <u>Biologia Hoje</u> . 14 ed. São Paulo: Ática, 2003. 3v.	
RAVEN, P. e colaboradores. <u>Biologia Vegetal</u> . Rio de Janeiro: Guanabara, 2001.		_____. <u>Biologia – Série Brasil</u> . São Paulo: Ática, 2003. Único.	
STEARNS, S.C. e HOEKSTRA, R.F. <u>Evolução: uma introdução</u> . São Paulo: Atheneu, 2003.		MACHADO, Sídio. <u>Biologia para o ensino médio</u> . São Paulo: Scipione, 2003. Único.	
YILLE, C. A., WALKER, W. F. e BARNES, R.D. <u>Zoologia geral</u> . Rio de Janeiro: Guanabara.		PAULINO, Wilson R. <u>Biologia</u> . 8 ed. São Paulo: Ática, 2002.	
		_____. <u>Biologia Atual</u> . 9 ed. São Paulo: Ática, 1997. 3v.	
		_____. <u>Biologia</u> . 1 ed. (edição compacta). São Paulo: Ática, 1993.	
		Revistas: Espaço da escola.	
		Superinteressante – Abril.	
		Globo Rural – Globo.	
		Globo Ciência – Globo.	

ANEXO 8

Figura 1: Representação esquemática e modelo espacial da molécula de DNA.



ANEXO 9

Figura 2: Fotografia da molécula de DNA, feita a partir da microscopia eletrônica.

24 | O GENOMA HUMANO: ESTRUTURA E FUNÇÃO DOS GENES E CROMOSSOMOS

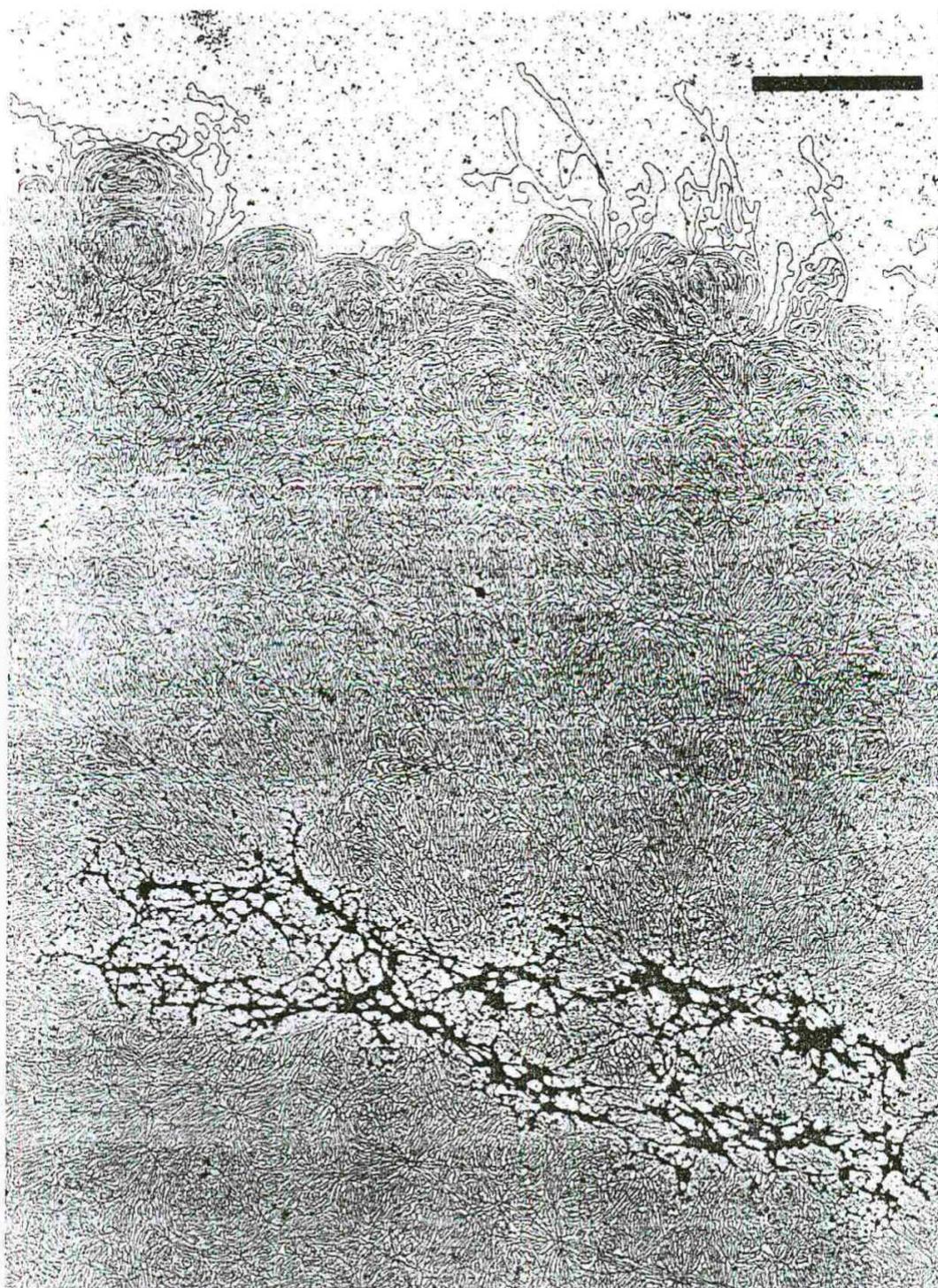
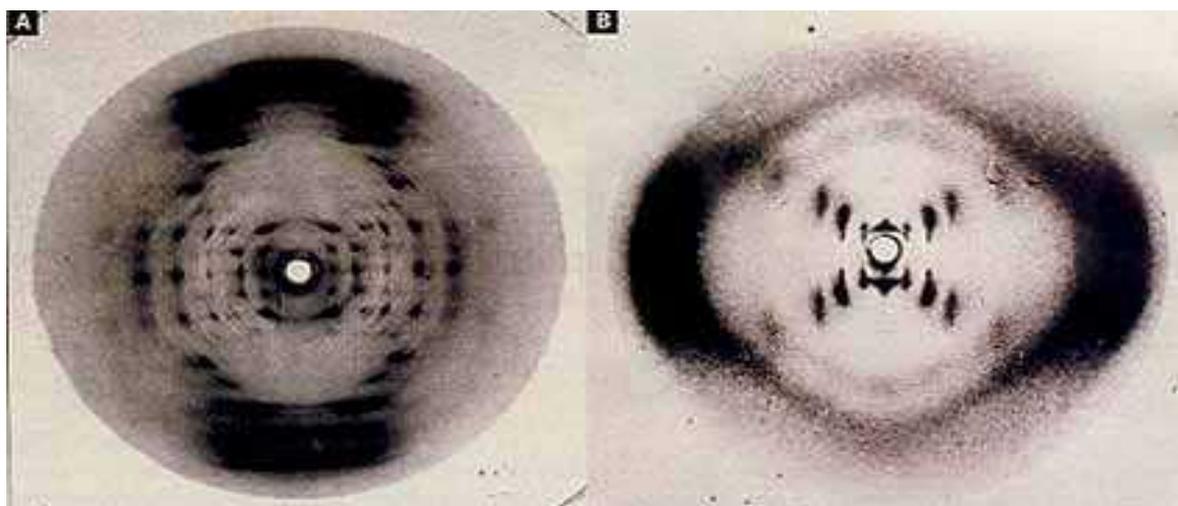


Fig. 3.12 Micrografia eletrônica de um cromossomo metafásico sem proteína, mostrando o arcabouço cromossômico residual e as alças do DNA. As fibras individuais do DNA podem ser mais bem visualizadas nas margens das alças de DNA. Barra = 2 μ . (De Paulson J. R., Laemmli U. K. [1977] The structure of histone-depleted metaphase chromosomes. Cell 12:817-828. Reimpresso com permissão dos autores e Cell Press.)

ANEXO 10

Figura 3: Fotos de difração por Raio-X de uma molécula de DNA, feita pela cientista Rosalind Franklin



Fonte: <http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/811>

ANEXO 11

Transcrição completa das entrevistas.

...Entrevista 1 – (P = piloto): dia 18/6/2004

Alunas P1 e P2 – juntas

Legenda: ... pequena pausa ____ pausa mais longa

E- Vocês já estudaram no ano passado citogenética, e na citogenética vocês estudaram DNA, não é?

A1 ...estrutura do DNA

....

E- Quando vocês estudaram DNA, estrutura do DNA, o que você lembra disso?

P1 todas as características da gente, no caso dos genes que decidem nossas características, né... mais a estrutura em si, né, dupla hélice, as bases, os processos de duplicação, replicação, tradução.

E – vocês lembram como é a molécula do DNA?

P1- sim.

E – Você pode me dizer...

P1 – é uma dupla hélice composta por bases nitrogenadas, e pentoses,as bases é a guanina, adenina., citosina... timina, guanina, adenina e citosina.

E – mas, essa dupla hélice, como é que a gente sabe que o DNA é uma dupla hélice?

P1- Ah! (silêncio)

E – Isso está nos livros, né?

P1– é.

E- Tá nos livros. Mas como que se sabe que é uma dupla hélice? Será que é uma dupla hélice mesmo?

P1- Pois é! A gente sabe dos livros, né? Porque a gente não tem como visualizar, pelo menos um DNA.

E- E quem foi que propôs a dupla hélice?

P1 e P2 - Watson e Crick.

E – Watson e Crick...você lembra o ano?

P2 – em 1953

E- Oh! A data aí ta bem presente, né? Então: Watson e o Crick... vocês poderiam me dizer assim oh, como é que será que eles chegaram a esse conhecimento? Como é que eles adquiriram o conhecimento de que o DNA é uma dupla hélice?

P2 - Não sei... acho que através de pesquisa e ____.

E – Pesquisa, como?

P2 – Não faço idéia como chegaram a dupla hélice! (risos).

E – Mas eles eram cientistas.

AP2– sim.

E – E como que vocês imaginam que os cientistas trabalham?

A- Com pesquisa, com teste...

E – Faz pesquisa, faz teste... com experimentos?

P1 2 P2 - ____

E – Na ciência tem um método para a gente chegar ao conhecimento?

P1 –Bom, acho que deve ter...método de pesquisa, sei lá...

E- então os cientistas sempre seguem um método...

P1– uma teoria, eu acho, né...

E – seguem uma teoria ? um método...

P1 – e para a partir dela tirar as conclusões, eu acho que é assim.

E – Então o W e o C, quando eles fizeram a ... proposta do modelo de dupla hélice para o DNA, eles antes fizeram experiências...tinham conhecimento tbjá sobre o assunto...

P1 – É... acho que eles partiram de uma teoria, né.

E – Partiram de uma teoria...

P1- ...aí eles pesquisaram e chegaram a conclusão que o DNA é uma dupla hélice.

E – você disse assim: eles chegaram a uma conclusão? como é que você acha que eles chegaram ? eles...baseados em que...na verdade, eles descobriram essa dupla hélice?

P2– Eu acho que descobriram.

E - Ou eles inventaram uma dupla hélice?

P2- Não, eles descobriram, de repente de tanto estudar, de analisar, eles chegaram a conclusão...

E – Então é com certeza que o DNA é uma dupla hélice?... Isso é uma verdade?

P2 – Até agora...é.

E – e vocês acreditam que um dia possa ser afirmado que o DNA não é uma dupla hélice?

P1 e P2 – Eu acho que sim, do jeito que a ciência está evoluindo hoje, né?Sei lá, com tanta pesquisa, tanta gente correndo atrás...

E – então o que o W e o C propuseram, não necessariamente é o que existe na natureza. É uma proposta que eles fizeram?

P2– Acho que é, porque até então ninguém pode provar o contrário...fica essa, né.

E – Você falou assim que pro W e C fazerem a dupla hélice, eles precisaram de teorias. E o que são as teorias?

P1– (risos). Ah, eu acho que são... fatos, sei lá, eles se baseiam em alguma coisa...princípios, sei lá, ou ...

E – estudo em livros...

P1– é , ou ...descoberta de outros cientistas, ou sei...

E –Durante a disciplina vocês fizeram vocês nunca leram nada sobre a história, nem tiveram curiosidade em saber como foi que se chegou a propor a dupla hélice como molécula da estrutura do DNA?

P1– Não, foi visto que W e C descobriram a molécula...

E - do DNA.

P1– é da dupla hélice.

E – Será que eles trabalharam sozinhos? teve mais gente envolvida...

P1– Eu acho que sim, né...

E - Claro, os assistentes deles, mas além disso será que eles usaram o conhecimento de outros cientistas também?

P1– eu acho que sim para se basear nos dados deles, porque assim só deles....

.....

E – W e C para chegar a molécula do DNA, eles fizeram experimentos,... analisaram esses experimentos e chegaram a uma teoria, uma conclusão. Então, eles seguiram um método. Todos os cientistas, quando trabalham eles seguem esse método?

P2- ...Eu acho que deveriam seguir, né?

P2 – eu acho que não é todos também. Porque a gente até ouve falar que tem aqueles que imaginam que alguma coisa que aquilo tem que dar certo, né. Não necessariamente seguem alguma coisa, mas imaginam e vão tentando, tentando...

E – Até chegar...a uma conclusão...

P2 – É.

E – Então os cientistas usam a criatividade.

P2– a criatividade, é ___mas também deveriam seguir métodos, né.

.....

E – Qual seria o objetivo do trabalho de um cientista?

P1– Objetivo de provar que aquilo que eles estavam fazendo que aquilo é verdade, que aquilo pode dar certo, né. Tipo, eles tentaram provar que a... que o DNA é uma dupla hélice. Objetivo deles era provar que aquilo era a verdade...

E – E como eles conseguiram provar?

P1- ... bem, acho que através de experimentos, pesquisa...

E – Quando na ciência se propõe uma teoria, um modelo, uma fórmula, vocês acreditam que isso é uma verdade que a ciência está propondo. É uma verdade. Então, como você explica, que antes você colocou, que no futuro pode ser que a molécula do DNA ...se descubra que ela não é uma dupla hélice. Como pode acontecer isso? se é uma verdade?

P1– Acreditar, a gente acredita que é uma verdade, né? Mas pode ter acontecido erro, né e a um tempo atrás a tecnologia não era tão grande, que nem hoje, hoje tem mais recursos mais meios, né, pra se descobrir mais coisas, mais...

E – Você falou erro. Então na ciência também pode ter erro?

A – acho né, com certeza...

E – Que a ciência pode também errar como nós erramos lá na hora da prova de bioestatística que vocês vão ter depois...

P1– de Geologia.

E – Mas esse erro que acontece na ciência ele é um erro por... você colocou que os instrumentos são inadequados,... mas poderia haver erro por outras razões também?

P1– Eu acho que sim.

E- Quais poderiam ser as outras?

P1– Erro humano, tecnológico...

E – Será que na ciência também pode ter fraude?

P1- ...eu acho que sim, né, porque hoje em dia perto de antigamente sempre existiu, né, fraude...sempre alguém tá querendo usar isso para subir, subir mais...

E – Mas entre os cientistas também poderia haver isso?

P1- e acho que sim porque existe, né...

E – Então você vê o cientista como uma pessoa, um ser...

P1– como qualquer um, como um cidadão... com ambição...

E – E sobre o conhecimento... quando nós falamos “conhecimento científico” ... ele é um conhecimento diferente de outros conhecimentos?

P2– Como assim diferente...

E – Você acha que o conhecimento científico é mais importante, ou tão importante ou...

A – Eu acho que às vezes é a mesma coisa, mas é usado em outras palavras, palavras mais difíceis, assim, né, de repente tu sabe aquilo de um jeito mais simples, mas conhecimento científico explica de modo diferente, assim com mais...

E – E essa explicação dá mais credibilidade ao conhecimento, faz você confiar mais no conhecimento científico do que no outro conhecimento?

P2– Sim, porque o conhecimento científico é mais completo, por ser mais complexo a gente leva mais a sério.

.....

E – Outro assunto que vocês já estudaram na genética é sobre o Mendel, né? Sobre as Leis de Mendel na genética básica principalmente...quando vocês ouvem falar sobre o trabalho do Mendel... ele trabalhou com o que?

P2– Com ervilhas.

E – E vocês já se perguntaram, ou leram por que ele trabalhava com ervilhas?

P2– Na época, eu lembro que foi comentado...mas agora não sei...

E – E onde ele trabalhava, em que local... num laboratório de universidade...

P2- ...

E – trabalhava no jardim de um mosteiro...Ele trabalhava sozinho ou em equipe?

P2– Acho que ele trabalhava sozinho, é o que eu lembro...

E – Na ciência, de modo geral, como é que vocês acham que é esse trabalho?

P2– Hoje não é mais sozinho, né. Tem que ter uma equipe, um laboratório, geralmente, né, hoje em dia o cientista trabalha num laboratório, numa equipe...

E – Será que o Mendel tinha conhecimento científico sobre a hereditariedade, por exemplo?Ele fez as leis que são a base da genética. Será que ele entendia sobre herança, hereditariedade...

P2– Eu acho que sim, para chegar as conclusões.

E- ...por que vocês acham que os trabalhos de Mendel não foram aceitos logo pela comunidade científica?

P2– De repente porque foi com ervilhas que eram tão diferentes ... ou porque ele não ser tão conhecido...sei lá...

E – Se o Mendel não tivesse publicado os resultados dele, será que... como vocês imaginam que teria sido o desenvolvimento da genética?

P2- acho que ... não sei...

E – Será que alguém outro teria descoberto isso?

P2– Ah, eu acho que alguém iria descobrir, mas de outra forma... bem mais tarde...

Entrevista 2 – (piloto) dia 5/7/2004

E-quando a gente fala em DNA, o que você lembra?

A- quando fala em DNA eu lembro tudo. Todo nosso corpo codificado ali...tudo, as emoções todas estão ali, é o que eu lembro quando fala em DNA.

E- E como é a molécula do DNA?

A- Ah, não sei! Como a molécula do DNA?

E – Você já estudou sobre o DNA, como é a sua molécula, como ela é, a estrutura...

A- Aquelas letrinhas? A,A, TT... e a forma dessa molécula....

P3 – é circular, uma fita...

E – uma fita circular...não é uma dupla hélice?

A- é ... como se fosse uma escada...

E – uma escada em espiral, não é?

P3– Exatamente.

E – Você lembra quem propôs essa estrutura?

P3- Não. (silêncio)

E- essa estrutura, quem propôs ela , essa estrutura do DNA foi Watson e Crick, em 1953,...como é que a gente sabe que ela é assim? como é que o W e o C chegaram a propor essa estrutura para a molécula?

P3- Ah, professora, é muito difícil essa pergunta...

E – Como é que você imagina que os dois chegaram a propor essa estrutura para o DNA? como eles trabalharam? como eles chegaram a esse conhecimento?

.....

P3 - (a aluna não respondeu)

E- e os outros conhecimentos, não só sobre o DNA. Tem muitos conhecimentos em ciências, você é aluna do curso de ciências... Estes conhecimentos que a gente estuda em ciências, que a gente chama de conhecimentos científicos, como esse conhecimento é adquirido? Como é que os cientistas chegam a esse conhecimento?

P3– Através de pesquisas.

E – através de pesquisas...e como eles fazem essas pesquisas?

P3– Depende da área que eles querem se aprofundar...laboratórios, pesquisas em livros...

E – E quando os cientistas chegam a um novo conhecimento. Eles descobrem ou eles inventam esse novo conhecimento?

P3– Acho que eles descobrem, é uma evolução...ele não surgiu do nada, eles para chegar a uma coisa eles tiveram um ancestral, eles vieram por uma linha por isso se descobriu coisa nova.

E – quando os cientistas falam que a dupla hélice é a estrutura do DNA... existe essa estrutura? existe o DNA? Existe essa estrutura na Natureza?....

P3 - E os cientistas através dos estudos e das pesquisas eles descobrem informações, do nosso genoma, ...

E- ...quer dizer que existe isso natureza e os cientistas precisam descobrir, eles descobrem isso...

P3 - Através da evolução. Pegam problemas que vão surgindo, eles vão tentando achar o fio da meada, sei lá... eles vão pesquisando, professora, acho que seria isso.

E- e quando os cientistas estão em busca do conhecimento, o que você acha que é mais importante para o cientista: os experimentos que ele faz no laboratório ou as teorias onde ele vai se apoiar, vai buscar...

P3- Eu acho que é o experimento. Porque isso que é o novo, que vai dizer se não deu certo... porque a teoria já existe.

E- O experimento é mais importante?

P3- é mais importante.

E- Como você imagina que um cientista trabalha em Laboratório?

P3 – Imagino ele cheio de livros, apoiando e faz testes da cabeça, e os professores dele, procurando o ideal.

E – E quando ele faz experimentos, ele tem um método para isso ou ele faz da forma que ele imagina?

P3- Eu acho que tem métodos.

....

E- O cientista segue sempre o mesmo método?

P3- Exatamente, até para eles terem no outro lado a mesma sintonia, o mesmo padrão, para todos terem a mesma oportunidade de descobrir as coisas...

E- O que você acha que precisa para ser cientista?

P3- Acho que vontade e estudo.

E- Qualquer pessoa pode ser um cientista?

P3- Eu acho que sim. Ainda mais nossa área, tem muita coisa interessante.

E- Quando a gente fala no cientista e no trabalho dele lá no laboratório ou na sua sala de estudo, a gente imagina o cientista trabalhando ali e... tentando chegar ao conhecimento. Você conhece a vida de um cientista, você já estudou a vida de um cientista, não?

P3 - Sim, rapidamente.... tudo que eu imagina, que vi em reportagem... não acho que eles não ficam trancados numa sala assimilando coisas, né... acho que realmente é um estudo a longo prazo...

E- O cientista trabalha sozinho, em equipe... como é o trabalho dele?

P3 - Eu acho também que é em equipe. Porque ele precisa da informática, precisa de outros dados, então é melhor em equipe, um melhor faz isso, outro faz aquilo...

.....

E – Nos livros textos o trabalho do cientista nem sempre aparece em equipe, aparece como trabalho individual. Por que será que isso acontece?

P3 - Porque isso foi que eu disse antes, foi um filme que passaram pra gente...que deu assim que, ainda mais assim, na área de biologia e ciências, a gente tem que estar ligado em vários campos, não só bitolado nos estudos...porque a gente precisa da informática...

....

E – então, o conhecimento que a ciência produz, a gente poderia dizer que é uma verdade?

P3 – Eu acho que sim.... é verdade, pura verdade!

E- Você já pensou que a verdade do W e C sobre a estrutura do DNA, isso um dia, pode não ser mais aceito assim? Será que um dia a gente pode chegar a conclusão que o DNA não é uma dupla hélice?

P3- Sim.porque tem muita coisa ainda para se descobrir, não só isso...

E- E o que vai acontecer com esse conhecimento que se tem hoje sobre o DNA, por exemplo?

P-3 Vai ser um... apoio para a pesquisa, vai ser uma boa sugestão para a prática, para novas descobertas.

E- Será que também tem erros, às vezes, na atividade de um cientista?

P3 - Acho que sim, tanto que, às vezes, eles publicam uma coisa, e há uma outra pessoa que está pesquisando aquela mesma coisa lá e publica que não seria assim, contestando....acho que pode.

E- E por que pode acontecer erro nesta atividade?

P3- Porque são experimentos, né...

E- e o cientista quando vai observar os dados, ele pode se enganar também?

P3 - Pode. Errar é humano...

----(comentário sobre fraude na atividade política - medicamentos)

E- Você acha que existe alguma instituição em que não acontece isso (referindo-se à fraude)?

P3 - Não, acho que não... em qualquer lugar pode...

E- Inclusive na ciência?

P3 - Inclusive. acho que pode haver fraude....

E- E por que você acha que também na ciência teria fraude?

P3 - Porque é um produto como qualquer outro, e é um produto que tem muita novidade, muitos olhos em cima, é o futuro....

E- Será que uma fraude na ciência ela é mais preocupante do que uma fraude, por exemplo, na política ou numa outra área?

P3 - Acho que sim.... Mas na ciência eu dou ênfase, porque ela envolve muita coisa, muita coisa...imagina que ela explica uma coisa e depois se vê que não é aquilo, isso é muito grave, as pessoas acreditam mesmo, sabe?

E- você já me respondeu que qualquer pessoa pode ser cientista. Então me diga algumas qualidades que você acha imprescindíveis numa pessoa para que ela possa ser cientista.

P3 - Dedicção, uma pessoa que gosta do que faça, honesta, e querer estudar, pesquisar...

....

Entrevista 3 – (piloto) dia 05/7/2004

...

E- Quando você houve falar em DNA, o que você lembra? O que lembra à você a palavra DNA.

P4 - eu lembro das bolinhas... das bolinhas...das ligações que nós fazia... dos erros, das mutações que foram um ponto que a gente pesquisou em Citogenética....Várias mutações são deletérias, mas a todo momento no nosso corpo estão ocorrendo mutações, que muitas não se... como vou dizer, muitas não se expressam...o que mais me lembra... é isso.

E- E da estrutura do DNA você lembra?

P4 - Lembro da escadinha....

E- Será que a molécula do DNA é uma escadinha, como você disse, é uma dupla hélice?

P4 – Creio eu que sim.

E- Acredita que sim, por que você acredita?

P4 - Ah, porque já fazem 50 anos que foi dito isso, né?Ano passado completaram 50 anos, e eu acho que se não fosse realmente assim, os cientistas dariam contra esta idéia e já teriam descoberto em 50 anos que não era isso aí.

....

E – Os cientistas descobriram a molécula do DNA na natureza...e se não fosse assim em 50 anos já se teria visto que não é assim.

P4 - É.

E-você acredita que algum dia pode, apesar de já a 50 anos se acreditar que o DNA é uma dupla hélice, você acredita que daqui um tempo possa ser modificado isso?

P4 - Sim, por causa que os estudos nunca vão parar. Então talvez por uma fatalidade lá tenha acontecido algum erro e, também muitas vezes por acaso se descobrem as coisas, que eu acho que talvez possa se descobrir, sim.

E- E os instrumentos tb vão sendo aperfeiçoados ...

P4 - É, o material de consulta, os métodos que vão sendo aperfeiçoados, se aprimorando cada vez mais.

E – E quando na ciência um novo conhecimento é produzido, o que acontece com o conhecimento anterior?

P4 - Eu acho que ele serve como base para estudo para se adquirir um novo conhecimento... só que no caso desse conhecimento ser um fato verdadeiro, aquilo fica no passado, né! Várias... que nem as teorias criacionistas..evolucionistas, um vai superpondo a outra...uma foi substituindo a outra...até hoje elas existem mas já é provado ou já é, na maioria das vezes, a crença...não prevalece, prevalece a ciência...

....

E- quando os cientistas trabalhavam para propor a estrutura do DNA, o que foi mais importante ou teve a mesma importância: os experimentos que eles fizeram em laboratório ou as teorias que eles conheciam e nas quais eles se apoiaram...

P4 - Eu creio que os experimentos foram a parte prática e a teoria foi a parte teórica. Não tem como dizer que um foi mais importante do que o outro. Acho que um complementava o outro. No caso da descoberta eu colocaria em primeiro lugar a prática, quando se fazem os experimentos, porque a teoria...

E- Na ciência, poderia ter um conhecimento sem ter experimento?

P4 - Acho que não. Tratando-se de ciência, acho que não.

E- Na ciência sempre o conhecimento surge da prática?

P4 - Eu acho que sim.

E- E essa prática tem um método, tem uma forma de se fazer...

P4 – Dependendo do conhecimento, porque muitas vezes o conhecimento de plantas, por exemplo, basta tu olhar e tu diferencia um tipo de folha do outro, agora tratando-se de células tu já precisa de outro tipo de método. Acho que depende de cada conhecimento...

E – Quando as pessoas olham para a mesma planta, elas vêem a mesma coisa?

P4 – Eu acho que não.

E – Por que não?

P4 – Cada pessoa olha para uma coisa analisando um ponto. Eu posso olhar para uma folha analisando a forma, ou a nervuras, outra pessoa pode olhar para a folha analisando a cor...

E- Na ciência quando se quer, por exemplo, fazer uma observação científica, nós vamos observar, p. ex., nervuras, todos vão enxergar as nervuras da mesma maneira?

P4– Creio que sim. Se todos usarem o mesmo método, sim...

E – Então tem que ter um método para seguir para chegar a um conhecimento...

P4 – Sim, para todos seguir, no caso de um experimento...

E – Você só vai enxergar coisas diferentes se você não usar o mesmo método...

P4– Sim, se não utilizar o mesmo método.

E – Então os cientistas para chegar a um conhecimento, eles terão que usar um método.

Você já ouviu falar de que método é este? Como é este método?

P4– Não.

E – Nunca ouviu falar em método científico?

P4– É, eu creio que para conhecer célula todos utilizem o mesmo método, para conhecer plantas, todos tem outro método...

...

(conversa sobre as fraudes)

E – Como você vê a presença de fraudes, será que elas podem existir na ciência também como existem nas outras instituições?

P4 - Eu creio que acontece bastante, porque assim no caso do Watson e do Crick, eles não trabalharam juntos para descobrir a molécula do DNA, mas eles descobriram a mesma coisa, cada um num lugar, então por isso foi dito que os dois descobriram.

E – Por que você disse que os dois não trabalharam juntos?

P4 – Por que não foram os dois que fizeram a mesma descoberta em lugares separados? então se diz que foi os dois...

E – Mas eles trabalharam juntos, no mesmo laboratório.

P4– Sim, mas depende... tem gente que diz que eles trabalharam separados, que tiveram a mesma idéia e daí se juntaram para fazer os experimentos...

...tem um outro caso, que agora não lembro o nome, que fez uma descoberta e daí outra pessoa viu e publicou e no caso deixou de ser de quem realmente foi, né.

E – Isto existe na ciência também, não só na política brasileira...

P4– Infelizmente, existe.

E – Que repercussões isso traz para a própria ciência, para o próprio trabalho do cientista?

P4– Isso é um assunto grave porque desmotiva, às vezes, as pessoas, né. Também quando...a ciência é muito retratada nos meios de comunicação, então, às vezes, ah! Descobriram uma coisa lá, em cima da hora e já vão para teve e anunciam foi descoberta a cura para AIDS, mesmo que não tenha sido. Então muitas vezes, enche as pessoas de...ah! agora tenho esperança... e muitas vezes não é bem assim. Então acho que tem que se cuidar muito com o que se fala.... ter bastante certeza...

Entrevista: 3/11/04 Estudante A1 – Sexo feminino

E – Então... aqui você vê a gravura de uma célula. No núcleo da célula. No núcleo da célula tem os cromossomos. Aqui você está vendo o cromossomo destacado...toda aquela parte da molécula...as histonas... e envolvendo as histonas, a fita do DNA... Aqui vai aparecer na gravura que a molécula do DNA tem uma estrutura... a estrutura de dupla hélice...você lembra? Quando a gente vê a estrutura do DNA, aqui você tem uma molécula do DNA, no primeiro desenho você tem uma representação esquemática e aqui embaixo você tem o modelo espacial...A primeira coisa que você lembra quando a gente fala em DNA, é o quê?

A1 – É essa fita. Essa dupla hélice.

E – A dupla hélice.

A1 – Bem como está aqui (indicando o modelo esquemático).

E – Você lembra isso aqui...

A1- Aí logo vem clonagem, e todas aquelas coisas que vão decorrer da descoberta do DNA...

E – Tu lembra da descoberta do DNA, quem foi que fez esta descoberta?

A1 – Foi aquele o Watson e o Crick... Bom, ano passado a gente fez a semana acadêmica comemorando os 50 anos....se não me engano foi em fevereiro que eles descobriram, né? 1953...

....

E – Quando a gente fala na molécula do DNA, vem a nossa mente a estrutura de dupla hélice... você também lembra dos descobridores, na verdade dos dois cientistas que propuseram esta dupla hélice, que foi o Watson e o Crick. Então, a minha pergunta é a seguinte: que o W e o C quando eles propuseram esta molécula, esta dupla hélice para ser a estrutura do DNA, eles se basearam alguns conhecimentos daquela época para fazer essa proposição de dupla hélice... você já chegou a ler alguma coisa sobre que tipo de conhecimento eles usaram pra fazer esta proposição... que experiência... eles fizeram experiência...

A1 – com certeza eu devo ter visto... mas, inicialmente, o que ficou no meu cérebro, assim, gravado, registrado foi só a descoberta da dupla hélice, ... os testes, com certeza eles fizeram, só que no momento não estou bem lembrada...

E - (explica a história da proposição: construção de modelos, conhecimentos da química, Chargaff, Pauling, Rosalind Franklin...) ... quando você olha para esta fotografia de difração do raios-X, você consegue ver a dupla hélice?...

A1 – eu não conseguiria ver...

E – Como você acha que é possível eles terem concluído a partir desta fotografia ... que a molécula do DNA é uma dupla hélice?

A1 – Como isso é possível!?

E – Isso saiu da cabeça deles?

A1 – É que, realmente, então eles tiveram um momento de luz, porque perdurou isso, ninguém, no caso, reivindicou : - não, não é assim! É desse jeito, como aconteceu na outras descobertas... sempre um foi lá e aprimorou... e eles não...

E - ... existe possibilidade de fazer uma proposição científica só a partir de idéias, como eles fizeram? Será isso possível?

A1 - só a partir de idéias...

E – Na ciência, se pode construir um conhecimento teórico apenas?

A1 – Eu acho que não. Eu acho que essas idéias têm que ser comprovadas. Pode até ter idéias, mas essa idéia tem de ser discutida e comprovada...

E – Ela tem de ser comprovada de que forma?

A 1- Através de pesquisa e do experimento.

E – ela tem de ser comprovada por experimentos...

A1 – Sim, a princípio...

E – (explicação sobre os experimentos realizados pelos outros pesquisadores que serviram de base para W e C...)

A1 – Mas houve experimentos!

E – Então você acha que não tem como haver um conhecimento científico sem ter havido um experimento antes?

A1 – Sim, porque se tu não conhece aquilo como é que é, para ter uma idéia, porque tu ter uma idéia e ao ter nada comprovando...fica muito vago...

E – Nos textos dos livros a gente lê que W e C descobriram a molécula de DNA...não diz que eles propuseram...

A1 – Não, eles descobriram, eles foram os descobridores...

E – Como você poderia conceituar o descobrir, o que é descobrir para você? Descobrir e inventar? Se eu dissesse que W e C inventaram a dupla hélice, isso seria diferente de descobrir?

A1 -(silêncio)

E – Mas o que significa descobrir a molécula do DNA?

A1 –... eu acho que seria expor, mundialmente, no caso, a molécula . Por que...

E – Então, na verdade a idéia que tem é de que a molécula, na natureza, ela existe assim, na forma de dupla hélice e eles conseguiram clarear aquela idéia que já existia?

A1 – é explicar mais nitidamente...não fica tão vago. Por exemplo, tem isso, mas se eu não vi, fica meio complicado tu imaginar como é que é...

...

E – Mas, isso me dá certeza de que a molécula do DNA é assim? Uma dupla hélice?

A1 – Bom, mas se eles fizeram todos os experimentos, pegaram os experimentos dos físicos e dos químicos, acredito que sim.

E – De que na natureza a molécula do DNA, é assim...

A1 – A não ser que alguém vem e prova o contrário, né.

E – O que pode acontecer...

A1 – É, nada é impossível até que alguém prove o contrário. Então, a princípio a gente acredita assim tal e qual como é, a não ser que seja feita uma nova revolução na área da genética.

E - ... (comentário sobre modelos). Será que o modelo de dupla hélice, que nós já estudamos 51 anos, um dia pode mudar?

A1 – Eu acho que o modelo não, mas devido a tanta evolução, o ser humano pode ... no caso alterar...seriam as ligações, as mutações.... mas o modelo, não.

E - ...o modelo permanece... mas vai ficar o modelo de dupla hélice.

A1- Acredito que sim.

E – mas nem todo o conhecimento na ciência permanece sempre. Há modificações.

A1 – Sim, há modificações. Mas a gente vê que é a longo prazo, né. Não são coisas que são descobertas em um ano...

E - ... e quando surge algo novo, o que acontece com o conhecimento velho?

A1 – Ele é aprimorado através do novo.

E – Mas ele permanece?

A1 – Permanece.

E – (Lê o texto da CH sobre a Lei de Biossegurança Nacional). Qual você acha que é o papel da ciência e do cientista neste projeto?

A1- Primeiramente, separar bem como diz ali o comércio. Pesquisar, pra pesquisar, no caso, ver bem, tem danos? Que danos são? Claro que isto é a longo prazo, não tem como a médio prazo, ver tudo isso. Porque a preocupação dos que são informados é saber que danos vai trazer para a minha saúde? Será que isto não vai trazer danos para as gerações futuras?

E – E é o cientista que pode fazer isso?

A1 – É, porque ele tá mais relacionado com essa prática, com esses conhecimentos, tem o material necessário para que aconteça isso.

E- Mas, se o cientista tem essa... sabe mais sobre esses assuntos... será que nós não poderíamos ouvir só os cientistas então?... não poderia ser uma comissão só de cientistas? Só ouvir a voz da ciência? Que você acha?

A1 – Eu acho que seria, se fosse, assim, realmente pesquisado no sentido da preocupação com a população e não se o Brasil vai ganhar mais dinheiro, vai ganhar menos dinheiro....ou vai perder ou vai ganhar...

E – Então no caso dos transgênicos, só a voz dos cientistas já seria suficiente para liberar ou para proibir eles para consumo humano?

A1 – Se eles fossem pessoas idôneas...como vamos escutar a voz do produtor, ele está comprometido com o lucro...

... Já escutei entrevistas com o pessoal da EMPRAPA, a EMPRAPA, assim, não tirando o merecimento dela, mas ela é Federal, então será que ela faz a pesquisa para o bem da população ou para o bem do governo? (comenta um debate que ouviu no Canal Rural na qual os transgênicos são defendidos...)

E – Se você pegasse, por exemplo, cientistas de uma universidade que fazem esta pesquisa você pensa que haveria um comprometimento deles com o bem da humanidade e eles dariam uma opinião mais neutra, não comprometida com o lucro?

A1- Sim. Eles não estariam comprometidos com o lucro.

E – Então a CTNBio , ..., poderia ser constituída só por cientistas?

A1 – É.

E – E a população? Como você vê o papel nosso, como cidadão, nessa questão dos transgênicos? Nós devemos participar, não devemos participar? Por exemplo, esse ano de novo o governo liberou através de medida provisória o plantio, mas está proibida a comercialização da semente....Como você a nossa participação como cidadãos?

A1 – Acredito que escutar a opinião da população seria interessante, só que daí vem o outro lado: como é que estas pessoas vão ter certeza do que estão falando se

ouviram outras falarem? Elas não tem nenhuma comprovação assim, específica sobre os efeitos...

As pessoas vão opinar segundo seus interesses...a opinião dos cidadãos não é neutra.

E – A participação dos cidadãos, nesse caso, só vai favorecer a liberação?

A1 – Sim. Porque eles estão ganhando para isso (referindo-se aos agricultores, vendedores de insumos agrícolas).

Entrevista com o estudante A2 – dia 3/11/04 Sexo masculino

E- (Inicia conversando sobre a disciplina de Citogenética que eles cursaram no terceiro semestre). ...quando você ouve falar em DNA, o que você lembra?

A2 – ...eu lembro que o ser humano não é composto de DNA, mas todo ser humano tem DNA em si, cada um tem o seu, que em princípio ninguém tem igual 100%, pode ser parecido...(comenta que gêmeos podem ter DNA igual).

E – E sobre a composição e a estrutura do DNA, como ele é formado?

A2 – Adenina, citosina, guanina...e uracila?

E – timina.

A2- É, timina. O RNA que é o outro.

E – No RNA é que vai ter uracila. E a molécula do DNA, você lembra como ela é?

A2- É essa que tá aqui (mostra a F1), que é uma dupla hélice.

E – Uma dupla hélice...(mostra a gravura F0 e F1). Isso são representações da molécula... como é que a gente sabe que o DNA é assim?

A2 – Eu acredito que através dos estudos que se fizeram, das pesquisas... foi anos...é o jeito mais fácil de explicar que ele é composto dessa maneira.

E - ... (apresenta a gravura F3 e a explica). Nós conseguimos ver a dupla hélice nessa fotografia?

A2 – Eu acredito que sim, dá para ver aqui (aponta para o esquema do cromossomo).

E – Não, aqui é o esquema do cromossomo...(explicando o que o aluno pensa ser a dupla hélice).

...

A2 – aqui não dá para ver.

E – (explica o relato dos historiadores, sobre os conhecimentos utilizados para fazer a proposição da estrutura, e apresenta as fotos de difração de raios-X, feitos por R. Franklin). Você já havia visto estas fotografias em algum lugar?

A2 - Não.

E- (explica o trabalho de R. Franklin com a difração de raios-x e os dados que serviram de informação para W e C, principalmente a foto B, que foi, segundo os historiadores, decisiva para entender a estrutura). Você acha que é possível concluir que o DNA tem a estrutura de dupla hélice interpretando esta fotografia? Será que isto é possível?

A2 – (silêncio). Acho que tem que ter uma base bem profunda até do que é o DNA para tu tipo montar uma estrutura, fica difícil.

...

E- Provavelmente eles usaram outras informações para chegar até isso, né? (explica as informações da Química por eles utilizadas: Chargaff, Pauling... para construir os modelos em papelão...).

...

E –Em muitos textos a gente lê que o W e o C foram os que descobriram a estrutura da molécula do DNA. E, a gente poderia pensar que eles inventaram a estrutura da molécula de DNA, não podia? O que é descobrir para você?...

A2 – Quem descobre é alguém que foi o primeiro, que descobriu aquilo ali, pois pode ter alguém que aperfeiçoou aquela idéia, aquele descobrimento... quem descobre é sempre o primeiro.

E – Eu não poderia dizer que eles inventaram? Também não poderia ser o primeiro?

A2 – Sim, porque foi idéia deles que inventou, né?...

E – Descobrir e inventar é a mesma coisa? Ou é diferente?

A2 – Eu acho que é diferente.

E – Por quê?

A2 – Porque se tu descobre tu chega até uma conclusão. E se tu inventa ... tu não tem uma base....Quem inventa não vai atrás de dados.

E – Você pode criar sem precisar comprovar.

A2 – É. E no caso quando tu descobre, tem uma base para comprovar o que foi descoberto, que seria daquela maneira.

E – E essa base para comprovar, o que você pensa que é esta base para comprovar?

A2 – Tem que ser uma coisa sólida, né. (usa o exemplo da fotografia B de difração para ilustrar). Ou provar de uma maneira que não fique dúvidas...

E – Esta prova tem de ser experimental? Tem que ser fazendo experiência?

A2 – Sim, senão fica uma coisa meio vaga, se você só vai falar, falar...tem que provar com alguma coisa...

E – Mas e se fosse provar com cálculos matemáticos, por exemplo, poderia?

A2 – Acho que sim, porque ele já é uma base material...

E – (comenta a notícia do JC, e o que o prof. Darcy Fontoura de Almeida escreve sobre W e C). O que você acha disso?

A2 – Eu acredito então que eles pesquisaram um monte daquilo que os outros fizeram, né, e começaram a aprimorar as idéias deles,...

E – E isso é possível, a gente produzir novos conhecimentos só por meio de teorias? Ou utilizando os dados experimentais de outros?

A2 – Sim, tu tá acreditando no que os outros fizeram. Se o cara fez uma bobagem...algo que não ta bem certo...tua descoberta, no caso, também vai ter algo que não ta correto...

E – Então, na ciência pode haver conhecimento só a partir de teorias?

A2 – Eu acredito que todo conhecimento pode ter a parte teórica mas ele teve uma experiência antes. Tem que ter as duas coisas...

E – (explica sobre a utilização de modelos na proposição da estrutura do DNA). Para que serve um modelo na Biologia? Pa que se usa um modelo?

A2 – Eu acredito que os modelos tem que ser uma cópia fiel da realidade, senão tu vai estar te baseando em algo errado, não vai estar com um modelo certo.

E – Mas como que eu sei que este modelo é uma cópia fiel da realidade? O modelo de DNA?

A2- (silêncio)

E – Na natureza o DNA, com certeza, é assim?

A2 – Eu acho que não, vai variar...

E – Não, o modelo da estrutura?

A2 – Não, o modelo é só para representar...

E – Será que algum dia nós poderemos na ciência chegar a um outro conhecimento que nos diga que o DNA não é uma dupla hélice?

A2 - É como eu falei antes ali, que a gente chega até um ponto e pára. E não se consegue ultrapassar. Eu acredito que no futuro possa haver outros modelos e que a gente comprove que não é assim... mas não quer dizer que é errado...

...

E – (situação 3 – leitura dos textos, excerto de livros de genética). O texto que a gente leu diz que foi proposto um modelo correto para a estrutura do DNA. Você acredita que isto é verdade?

A2 – Acredito que sim.

E – Por quê?

A2 – Porque a partir deles já foram feitos vários estudos...de hereditariedade...e tudo foi comprovado.

E – (introduz a situação 4). Como você vê o papel da ciência e do cientista neste projeto de Lei? É importante a participação ou não...

A2 – Acho que é muito importante, sim, tanto a parte de alimentação e econômico, no caso, se proibi vai causa um monte de atraso, ou vai polui mais por causa dos produtos e coisa, mas o importante é que se saiba com segurança se aquilo vai fazer mal ou não. Mas principalmente na parte da saúde ... (comenta sobre o uso das células-tronco com fins terapêuticos que julga importante, citando como exemplo um problema de visão que há na sua família e que é também portador, cuja cura ainda não existe. As células-tronco são uma esperança).

Entrevista com o estudante A3 – dia 03/11/04 , sexo masculino

E – Você já estudou o DNA?

A3 – Já.

E – Quando a gente fala em DNA , o que você lembra?

A3 – Lembro daquela dupla hélice, da timina, guanina, ...

E – A molécula do DNA, a estrutura dela você lembra que é uma ...

A3 – É uma dupla hélice retorcida.

E - Isto. Aqui nós vemos um modelo esquemático e outro modelo espacial (mostra a F2). Os dois são modelos da molécula de DNA, né? Nessa representação (ostra a figura F0). Como é que a gente sabe que a molécula é uma dupla hélice?

A3 – Pelo que eu lembro das aulas, ela é, ela tem duas partes, ela se ligam entre duas partes...

E – Mas como é que a gente consegue saber, ou ter a representação desse modelo... como é que se chegou?

A3 – A isso foi muito tempo atrás aquele W e C, eles que descobriram através das experiências científicas deles mesmos.

E – Nessa figura aqui, isso aqui não é um modelo, isso aqui é uma fotografia tirada com microscopia eletrônica, vendo-se um cromossomo sem proteína, somente com o esqueleto de DNA. A gente consegue ver a dupla hélice aqui, no DNA?

A3 – Não. Nem um pouquinho, é uma linha apenas.

...

E- Essas duas fotografias você já viu em algum lugar?

A3- Não.

E – Também não?

A 3 – Não conheço.

E - (explica a origem das fotografias de difração de raios-x). O W e o C quando propuseram o modelo de estrutura do DNA eles se basearam na figura B. Você acha que olhando para essa figura a gente também pode ver que o DNA é uma dupla hélice?

A3 – Olhando para isso aí, não. Diria assim que eram duas fileiras, uma do lado da outra, que tem essa parte mais escura aqui...

E – Os historiadores da biologia dizem que quando W e C viram a fotografia B da difração de raios-x feita pela Franklin eles tiveram a informação, eles chamam assim decisiva para a proposição da estrutura de dupla hélice. Como será que o W e o C conseguiram tirar as conclusões deles...? Será que eles usaram outros dados também?

A3 – Pelo que dá para entender o único jeito de saber que era uma dupla hélice, era só se ampliasse mais a foto ainda.

E - ...(explica quais os dados que W e C usaram para chegar a dupla hélice). Em muitos textos a gente lê que W e C descobriram a molécula do DNA. Mas, a gente também poderia arriscar dizer que o W e o C inventaram a molécula do DNA, o que você acha disso? Eu poderia dizer que eles inventaram em vez de descobriram?

A3 – Assim nos dias de hoje, se eles inventaram, eles inventaram uma coisa que é certa porque até hoje não foi alterado e hoje tem muitos recursos pra ver que se realmente eles tivessem feito uma coisa que não era verdade, já tinha descoberto.

E - ... Para você: descobrir e inventar é a mesma coisa? É diferente?

A3 – Não, é diferente.

E – O que é descobrir?

A3- Descobrir a gente vai ver alguma coisa, vai achar alguma coisa sem que ninguém saiba ou sem que ninguém sabia da existência daquela coisa.

E – Mas ela já existia?

A3 – Já existia, só que ninguém sabia da existência daquela coisa...

E – Mas a coisa na natureza já estava ali daquela forma...

A3 – Sim, por isso ela teve de ser descoberta. E inventar é quando cria alguma coisa. Pega uma coisa e transforma em uma outra.

E – Então para você a molécula do DNA na natureza, ela existe na forma de dupla hélice?

A3 – Já existe.

E – Ela existe assim, nesta forma de dupla hélice? E foi o W e o C que conseguiram descobri-la...

(comenta sobre o texto de Darcy Fontoura de Almeida no JC) . O que você acha disso? Pode acontecer isso na ciência, de dois cientistas não fazerem experimento algum e chegarem a um conhecimento científico?

A3 – Pode até pode. Mas eles não terão 100% de certeza de que aquilo está certo. Eles vão arriscar...

E – E como eles vão ter certeza de que aquilo é a verdade, que é o certo?

A3- Eles pegaram várias peças de outras pessoas que fizeram os testes. Pra eles aquilo estava certo porque ninguém foi contra eles...

E – E na ciência, a gente pode chegar a um conhecimento científico, aceito como verdadeiro, sem fazer experimentos?

A3 – É muito perigoso porque pode haver muitas contra-indicações, muitas coisas que podem dar o contrário que é esperado, mas ...

E – Então eu tenho que fazer a experiência para poder...

A3 - ...dizer se tá certo ou não.

...

E – o conhecimento poderia ser adquirido só a partir de teorias, só estudo teórico?

A3 – Não. Tem que ter a prática também.

E – Tem que ter a parte experimental. Ou tem que ter as duas coisas?

A3 – Um pouco a gente vê isto até no trabalho da gente, ... se você vai dar aula de alguma coisa, se você só vai falar, o aluno não sabe se é verdade ou não...

...

E – (explica sobre o uso de modelos por W e C). O que é um modelo?

A3 – É a representação gráfica daquilo que a gente quer mostrar, desenho, figura...

E – Mas, o modelo, ele é uma cópia da realidade?

A3 – É o mais parecido possível, né... eles são cópias da realidade...

....

E – E na biologia, nós temos outros modelos?

A3- ...sim, nas aulas de laboratório a gente faz testes...da tipagem sanguínea

E – Isso é um modelo?

....

E – A síntese protéica e as etapas da divisão celular, seriam modelos?

A3 – Sim. ... (fala sobre a genética, e os modelos para resolver problemas...)

E- Será que um dia poderemos chegar a conclusão que o DNA não é uma dupla hélice?

A3 – Pode porque hoje em dia junto com outras ciências, da informática, elas andam juntas...

....

E – Num texto de biologia, fala que em 1953 foi proposto o modelo correto pra estrutura do DNA, como você entende isto? Como é que o autor diz que o modelo é correto, se há a possibilidade de mudar? Então ele não é correto?

A3 – Ele quis dizer que o modelo é correto, na época. Pra ele, ele achou que não ia mudar mais , aquele era a última etapa, que não ia modificar mais, tanto que já faz 50 anos, mas quem sabe um dia pode mudar...

E- (comenta sobre o Projeto de Lei da Biossegurança Nacional e lê o texto do editorial da CH) . Como você vê o papel da ciência e do cientista neste Projeto? Vamos pegar a questão dos transgênicos agora que nos afeta aqui na região porque nós somos plantadores de soja.

A3 – Bem, eles tem que ser o mais sincero possível porque isso faz parte, ta pondo em risco a carreira deles. Se eles falarem uma coisa e depois for comprovado que não é, obviamente eles vão perder grande crédito na comunidade que eles vivem.

Então eles têm que estar cientes de que o que eles estão fazendo está certo e de que aquele resultado não vai ter nenhuma controvérsia, nenhuma contra-indicação e que não vai causar nada que atrapalhe a carreira deles porque eles podem, assim como eles estão lá em cima, eles podem cair lá em baixo.

E – E quando vai se criar a comissão que vai decidir se libera ou não os transgênicos, não seria suficiente o governo ouvir só a opinião dos cientistas para proibir ou liberar os transgênicos?

A3 – Ele tem que ouvir várias partes, tanto as prós como as contra, tanto os cientistas como de outras áreas. Aí ele juntar tudo num só e fazer um debate e ver, realmente, qual é o certo. Porque só os cientistas, podem ser que eles estejam errados e a outra parte lá, digamos um físico, um químico, ou uma outra área estejam certos em ponto ali que aí dá....

E – Mas os químicos e físicos são cientistas também...

A3 – É.

E – Uma população que não é, como, por exemplo, os deputados...

A3 – É que isso aí tem muita política, como a senhora falou, se eles vão ouvir uma empresa de veneno ela vai dizer que não e pronto, porque elas querem vender o veneno. Se eles vão ouvir uma área então ...então eles têm de ouvir todas as partes...

E – E a população, o cidadão, não deveria ser ouvido?

A3- Também, seria a parte principal porque é a parte que vai usar o produto...tem sempre os dois lados: o a favor e o contra...

E – Mas se a gente deixasse essa decisão só na mão dos cientistas isso seria perigoso?

A3 – Não, porque lá entre eles também tem cientistas que são a favor e outros contra, então eles vão debater entre eles. Mas como vão envolver todo mundo, entende, todo mundo tem que dar opinião.

Entrevista com a estudante A4 – dia 05/11/04, sexo feminino

E – (Introduz o assunto falando sobre a disciplina de Citogenética e o estudo sobre DNA que lá fizeram)

E – Quando a gente fala em DNA, o que você lembra?

A4 – Dupla hélice.

...

E – A estrutura da molécula. (mostra os modelos esquemáticos e espacial do DNA). Como é que a gente sabe que a molécula do DNA é uma dupla hélice?

A4 – Isso eu acredito que é através de vários estudos que foram feitos...ah eu não tenho muita noção do...

E – Mas, a gente sabe porque a gente vê nos livros...

A4 - ...porque foi proposto e foi aceito, daí...

E – Você lembra quem propôs?

A4 – Não.

E – (explica sobre a história da proposição e comenta a fotografia feita com microscópio eletrônico) . Nesta fotografia, a gente consegue ver a dupla hélice?

A4 – Aqui, eu acho...

E – Mas aqui é o esqueleto do cromossomo, braço curto, braço longo...Esta parte mais escura que é o DNA que constitui o cromossomo.. a gente consegue ver a dupla hélice aqui?

A4 – Ah, não! Mais parece mais um emaranhado... eu não iria identificar...

E – (mostra as fotografias de difração de raios-x). Essas duas figuras você já viu em algum lugar?

A4 – Não.

E – Isso aqui também são fotografias. Você nunca viu?

A4 – Não, ...parece uma coisa girando...

E – (explica o que é esta fotografia e quem a fez). Você acha que, olhando para essa fotografia, só olhando para esta fotografia, a gente poderia deduzir que o DNA é uma dupla hélice?

A4 – No caso eles imaginaram isso aqui que seria a dupla hélice... ou é aqui...

E – Não, olhando para a fotografia ...pela distribuição dos padrões...

A4 – Ah, eu acho que até que daria.

E – Mas, o que seria necessário para gente poder chegar a essa conclusão?

A4 – teria que ser um pouco mais amplo para poder ... pra ter certeza...

E – Mas, a gente pode concluir que o DNA tem a estrutura de dupla hélice...

A4 – só olhando pra cá?

E- É.

A4 – Não, eu não.

E – Será que o W e o C, além de olhar para esta fotografia eles usaram outras informações também?

A4 – Acredito que sim, com certeza!

E – Por que só olhando para a fotografia...

A4 – não dá prá tirar muita base.

E - ...(comenta sobre as informações da Q , segundo os historiadores da ciência – e sobre a construção de modelos).

Em muitos textos, em muitos livros, a gente lê que o W e o C descobriram a molécula do DNA... Eu poderia dizer que o W e o C inventaram a molécula, em vez de dizer descobriram?

A4 – Eu acho assim, que eles, no caso, não sei se ... inventar é diferente de descobrir ... só que eles, através dos estudos ... talvez imaginaram... aí, eu tô um pouco confusa...

E – ... o que seria descobrir?

A4 – Descobrir é tu...

E – encontrar?

A4 - É, encontrar uma coisa que já existe.

...

A4 – é como se fosse tu chegar num lugar e ta pronto aquilo. E inventar, não. Eu acho que eles, no caso, inventaram, digamos assim, através do que eles estudaram...e daí eles imaginaram e foram fazendo e viram que era realmente isso aí...não que eles descobriram, porque eles não chegaram e acharam de cara isso aí,

eles tiveram que ir estudando e foram fazendo modelos...foram indo até que comprovaram...

E – ... como eles comprovaram?

A4 – foi por estes trabalhos que eles fizeram, estes estudos...

...

E – (comenta o que Darcy Fontoura de Almeida escreveu no JC). Você acha que isso pode acontecer na ciência, um cientista, p. ex., chegar a um conhecimento científico sem ter feito experiência?

A4 – Eu acho um pouco difícil, no caso eles se basearam nas experiências de outros, não é?

E – Então houve experiência.

A4 – Houve experiência.

E – Tem que ter experimento...

A4 – É. Até para ter, digamos, uma certeza maior do que ta fazendo.

E – Você não consegue ter, p. ex., um novo experimento sendo produzido só a partir de teorias? Idéias ...

A4 – É um pouco complicado...

E – Tem que ter as duas coisas?

A4 – Eu, pra mim, sim...experimento para comprovar...mas um outro pode fazer...

....

E - Além do DNA, você conhece outros modelos em biologia? O que mais poderia ser um modelo...

A4 – (silêncio) seria...

E – P.ex. a síntese de proteína,...

A4 – É, nas bioquímicas...na química,....ciclo de Krebs

...

E – Então, o que você acha que é um modelo?

A4 – (lê as 2 definições de modelos). Os modelos, eu acredito que eles são verdadeiros, que eles são cópias da realidade, apenas são utilizados pra fixar melhor a teoria. E estes modelos seriam mais visualização, seriam a parte mais prática...

E – como a gente não pode ver a realidade...

A4 – ver a realidade diretamente, a gente utiliza estes modelos...

...

E (apresenta os textos da situação 2)A dupla hélice é o modelo correto para a estrutura do DNA? Você acha que isso é verdadeiro? ou não?

A4 – Eu acho que é verdadeiro.

E – Por que você acha que é verdadeiro?

A4 – (silêncio)

...

A4 – porque eles estudaram...

...

E – (comenta sobre a Lei de Biossegurança Nacional...). Qual é o papel dos cientistas ou da ciência na discussão, na elaboração desse projeto de Lei?

A4 – Projeto de Lei da liberação?

E – Da liberação ou não...

A4 – ...os cientistas, no caso, precisariam do apoio, do apoio do executivo...não, do legislativo, porque ai eles estariam amparados para pesquisar, estariam livres para utilizar desses recursos que a ciência traz para hoje... tudo ta evoluindo...proibindo

vai fazer com que muitos trabalhos não evoluam...até podendo ajudar muitas pessoas que tem problemas, como as células-tronco...

E - ...só a presença dos cientistas nesta comissão já não seria suficiente?

A4 – é que, eu acredito, que o povo em geral, ...tem muitas pessoas que não acreditam só em cientistas. Então teria que ter alguém que representasse o povo...

E – Por que você acha que o povo, muitas pessoas da população, não acreditam em cientistas?

A4 – Porque talvez até tenham informações distorcidas sobre certos assuntos e que, as outras pessoas fazem a cabeça deles com outros conhecimentos,... daí eles não tem as reais informações sobre o trabalho dos cientistas.

E – Como você, como aluna da biologia, vê o trabalho dos cientistas?

A 4 – Eu acho maravilhoso, né, porque tudo, eles estão sempre em constante estudos, busca, descobertas, tudo pra melhor.

E – E neste caso, p.ex., da liberação ou proibição... você votaria que só os cientistas decidissem isso?

A4 – Não, pelo fato de muitas pessoas não aceitarem só a opinião de cientistas. Mas, se fosse eu , pra mim só os cientistas bastariam.

E – Se fosse só por você...

A4 – Sim, se fosse só eu , pra mim só os cientistas bastariam.

E – Você acredita que os cientistas sempre vão levar em consideração o...

A4 –bem-estar da humanidade. Porque muitas pessoas que estão no legislativo, muitas vezes não tem tantos conhecimentos, claro que eles fazem estudos para poderem votar...

E - E os cientistas também não poderiam olhar o lado do lucro?

A4 – Acho que teria as duas partes, ... porque com certeza eles estariam vendo pro benefício, mas, também eles pensariam um pouquinho no lucro... porque eles dependem disso também....

E – Então o cientista não é tão neutro quando ele vai tomar uma decisão?

A4 – Neutro, na questão...

E- Como, p. ex., se o cientista vai votar a favor da liberação ou não dos transgênicos, o que você acha? Poderia acontecer dele ter um compromisso com a Monsanto e votar a favor da liberação dos transgênicos para poder continuar a pesquisa dele financiada pela Monsanto?

A4 – É, então eles não são tão neutros assim...

E – e como ficaria o nosso papel, enquanto cidadãos, diante disso tudo?

A4 – Eu acho que teria que ter um posicionamento, né, da população em geral, não só dos ambientalistas.... mas teriam que ser passadas informações corretas, porque várias palestras que a gente vai, os ambientalistas colocam só o lado negativo, os agrônomos são a favor..., os lavoureiros acham maravilhoso.

E- e quem passaria essas informações?

A4 - ... é um pouco complicado...

E- Será que o cientista poderia ser?

A4 – Desde que não fosse da Monsanto, (risos) poderia.

Entrevista com a estudante A5 – dia 11/11/04, sexo feminino.

E – (Comenta sobre a grande quantidade de notícias sobre o DNA que se ouve na mídia). Você também já estudou sobre o DNA... Quando a gente fala de DNA...qual a primeira imagem que vem a tua cabeça?

A5 – a dupla hélice.

E – A dupla hélice.

A5 – O que vem a cabeça é a dupla hélice, porque, tanto porque a gente já estuda, né. E até porque é bonitinha...

E - (mostra as representações da figura F1, comentando-as).

A5 – Pra ver como a gente memoriza mais com o desenho. É bem mais importante quando tu tens, assim, uma lâmina colorida...entusiasmo mais nas aulas.

E - ...como é que a gente sabe que a molécula do DNA tem essa forma de dupla hélice?

A5 – Porque o W e o C foram os que descobriram, e segundo o que a gente estuda sobre eles, nos livros consta, a gente não viu, né, não viu, mas segundo os livros, é isso.

E -(comenta as representações da estrutura e a fotografia F2). Quando você olha para essa fotografia, ..., você consegue ver a dupla hélice nesta figura?

A5 – Não. Mas dá para ter uma noção, uma noção de que é um preenchimento...

E – (Apresenta as duas fotos de difração de raios-X e comenta sobre elas). Você já tinha visto estas fotografias em algum lugar?

A5 – Não, nunca tinha visto.

E – (explica como foram obtidas as fotos e quem fez o trabalho). Olhando para estas fotografias, principalmente para a B que é mais nítida, será que a gente pode ter uma idéia de que o DNA é uma dupla hélice?

A5 – Olhando assim não dá.

E - (explica sobre como os historiadores apresentam a importância que as fotos tiveram para a proposição da dupla hélice). Será que W e C usaram, além dessa fotografia, outras informações para tirar as conclusões?

A5 – Devem ter usado... até porque eles estudaram muito, né, até chegar a conclusão... a gente, a gente não tem os estudos que eles tiveram, a gente olhando assim, a gente não diz que tem uma dupla hélice, mas eles devem ter estudado bastante para concluir isso...

E – Eles só devem ter estudado as teorias... ou eles realizaram também experimentos?

A5 – Não sei, mas eles devem ter feito experimentos também...

E – (explica o que os historiadores falam sobre o fato de w e C não terem feito, eles mesmos experimentos, mas terem usado os dados de outros cientistas, e sobre a construção de modelos...).

A5 – Então eles imaginaram isso?!

E – A partir do conhecimento dos dados que eles tinham dos outros...

A5 – Ta. Mas há 50 anos esta teoria prevalece, né, ninguém contestou sobre isto ainda.

E - ...a proposta da dupla hélice do DNA, ela foi inventada por W e C, ou ela foi descoberta por eles? Como você vê isso? Será que descobrir e inventar é a mesma coisa?

A5 – Não. Para mim não é. Descobrir é uma coisa que tu estuda, tu chega a uma conclusão. Tu descobre. E inventar é uma coisa que tu imagina...Imagina que seja assim...e vai fazer assim...

E – Mas o W e o C, eles não estudaram e chegaram a uma conclusão?

A 5 – Segundo o que dizem, sim.

E – Então eles descobriram?

A5 – Descobriram...

...

E- As teorias que a gente tem na ciência, elas já existem na natureza, ou essas teorias são criadas? Ou elas vem da mente das pessoas?

A5 – Acho que vem da cabeça... teorias vem da cabeça...

...

E – Você acha que isso pode acontecer na ciência: alguém construir um conhecimento científico sem fazer experimento ele mesmo?

A5 – Eu acho que deveria fazer o experimento. Eu acho que deveria...

E- Por quê? Você não pode construir conhecimento sem experimento, só com teoria?

A 5 – Ah, mas fica mais fácil com experimento.

E – Por que fica mais fácil?

A 5 – Ah, com experimento tu vê o que acontece...

E – Você só pode saber como é quando você vê?

A5 – Ah, e nem em todas as situações.

...

A5 – Quando tu vai para o laboratório, quando tu estuda a teoria tipo assim na sala aula e tu vai para o laboratório e tu vê lá, fica mais nítido, tu consegue explicar melhor, definir melhor ...

E – Mas você consegue ver o DNA no Laboratório?

A5- Não.

E –... fica difícil, então, para você entender como ele é?

A5 – Não fica difícil porque você vê o desenho.

E – Ah, então você tem um modelo que ajuda a compreender...e o que é um modelo?

A5 – É algo que alguém formulou... e que você estuda em cima daquilo.

E – Este modelo representa a realidade?

A5 – Pelo jeito, sim.

E – Eu poderia dizer que o modelo é uma cópia da realidade?

A5 – (silêncio)

E – (entrevistadora comenta sobre as idéias que existem sobre modelos...).

E – O que é mais provável: que o modelo seja uma cópia da realidade ou que ele seja uma suposição?

A5 – Que eles seja uma cópia da realidade.

...

E – (comenta a introdução da situação 3). Você acha que o modelo é correto?

A5 – tudo o que a gente aprendeu até hoje é que isto é correto.

...

E – Você acha que algum dia nós poderemos chegar a conclusão de que a molécula do DNA não é uma hélice dupla?

A5 – Pode. Diversas teorias foram revistas...

E – E o que vai acontecer com esta teoria da dupla hélice daí?

A5 – Eu acho que ajudou bastante, mas se, no caso, descobrirem que não existe uma dupla hélice, eu acho que não deixa de ser uma teoria. No caso, eles tiveram a suposição que seria assim, mas se alguém discordar, não sei...

E – No caso de surgir uma nova teoria, ela deverá estar baseada em quê, para ela substituir a proposição da dupla hélice?

A5 – Acho que para alguém, alguém contestar, esta pessoa vai ter que estudar muito, vai ter que provar...

E – e como vai provar?

A5 – (silêncio). Vai provar, vai ter que provar...

E – mas como a gente prova alguma coisa na ciência?

A5 – pesquisando....

E – (introduz o assunto sobre a CNTbio). Nesta questão de liberação ou não dos transgênicos, se nós tivéssemos só cientistas, por exemplo, não seria suficiente a gente ouvir só a opinião dos cientistas para proibir ou liberar os transgênicos para consumo humano?

A5 – eu acho que não.

E – Por que não?

A5 – Porque cada representante vai olhar de uma forma. Os representantes do governo vão opinar a respeito dos benefícios do governo, ... os cientistas já vão opinar no caso e ajudar a população, vão defender a tese deles, por isso é bom ter um diálogo, uma conversa entre todos...

E – Mas, o importante mesmo é o bem estar da humanidade e o cientista não é aquele que vai sempre defender o bem estar da humanidade?

A5 – É....

E – Então, você ter só os cientistas nesta comissão, não resolveria?...Não seria mais tranquilo, mais garantido que o bem estar da humanidade estaria garantido?

A5 – A respeito do bem estar, sim.

E – O cientista quando vai tomar uma decisão ele pensa no bem estar da humanidade?

A5 – Sim.

E – Como você vê o papel do cidadão diante disso tudo? ... nós enquanto cidadãos...

A5 – Eu acho que no caso do plantio dos transgênicos...eu até acho que os agricultores na maioria nem imagina o que seja a transgenia, eles nem sabem, então porque é mais fácil para eles cultivarem, eles optam pelos transgênicos, é muito mais fácil...

E – ...enquanto cidadãos, você acha que nós devemos ou não participar? Ou vamos deixar só na mão dos cientistas isso?

A5 – Eu acho que como biólogos, sim.

E – Devemos participar?

A5 – Sim.

...

E-... obrigada pela colaboração.

A5 – Ah, eu aprendi bastante!

E- Que bom!

Entrevista com a estudante A6 – dia 11/11/04, sexo feminino

E – (introduz o assunto DNA). Quando se fala em DNA, qual é a imagem/idéia que você tem de DNA?

A6- Formação do ser humano.

E – DNA -- formação do ser humano. DNA é o quê, para você?

A6 – Seria um código de letras que seja capaz de formar uma pessoa...

E – Quem tem DNA?

A6- Ah, quase todo mundo.

E- Todos os seres vivos?

A6- É.

E – E a molécula do DNA, como ela é?

A6 – é uma dupla.

E – É uma dupla, uma dupla hélice. (explica as representações da molécula das figuras F0 e F1). Como, na ciência se sabe que a molécula do DNA é uma dupla hélice?

A6- Como nós sabemos... que é formada de dois...

E – Por que a gente sabe que ela é uma dupla hélice?

A6 – (silêncio)

E- Por que a gente estudou nos livros... ?

A6 – É. ... na internet ...

E – (explica a foto de micrografia e técnica pela qual foi produzida). A gente consegue ver a dupla hélice aqui?

A6 – Consegue.

E- Onde?

A6 – Aqui oh! (aponta para o esquema do cromossomo).

E – Não, este é o contorno, a estrutura do cromossomo.

A6- Uhm!

E- (mostra os braços curtos e longos...)

A6 – ah, é!

...

E – (mostrando as fotografias do DNA por difração de raios-X). ..são fotografias, você já as viu em algum lugar?

A6 – Já.

E – Onde?

A6 - ...uma professora nos mostrou.

E – (explica sobre a técnica utilizada para produzir a fotografia). Olhando para esta fotografia, a B que está mais nítida, que o W e C tiveram a informação decisiva para propor a dupla hélice como estrutura do DNA. É isto que os historiadores nos contam. Como é que a gente olhando para esta fotografia, a gente poderia deduzir que a molécula é uma dupla hélice. Você acha que tem condições de a gente deduzir isso?

A6 - ...por isto aqui?

E – Por estas fotografias...

A6 - ... eu acho que sim...

E – Por quê?

A6 – Porque tem umas estruturas mais escuras aqui, assim, então parece que liga pra cá...

E - ... então dá uma idéia de dupla hélice. Mas dá uma idéia de dupla hélice porque nós temos, na nossa mente, a imagem da dupla hélice. Mas, se nós não tivéssemos, será que a gente conseguiria deduzir?

A6 – olhando assim? ... sei lá...

E – (comenta sobre outras informações da Química e da Física, que W e C disponham sobre o DNA e proteínas. Fala também sobre a criação de modelos que ambos fizeram).

Você acha que é possível, na ciência, se obter o conhecimento sem utilizar experimentos?

A6 – como?

E – A gente pode fazer/criar um conhecimento científico sem usar experimentos/experiências?

A6 – Sem ter um conhecimento anterior?

E – Não, um experimento prático, uma parte em laboratório...

A6 – Talvez possa. Mas se torna mais difícil, eu acho. Porque tu vendo ali, experimentando mesmo, fazendo testes, tu consegue elaborar mais... sem experimentação acho difícil.

E - ... nos livros a gente vê muito escrito que W e C descobriram a estrutura do DNA...Mas eu não poderia dizer que eles inventaram a molécula do DNA?

A6 – ... Eles fizeram experiência, né?

E – W e C não, só os outros...

A6 – Eu acho que a partir do que os outros fizeram eles se basearam...talvez eles tenham inventado alguma coisa...

E – Para você, descobrir e inventar é a mesma coisa, ou é diferente?

A6 – Não.

E – Por que não?

A6 – Inventar você cria alguma coisa na cabeça, você acha que é daquele jeito e coloca. E descobrir você coloca o verdadeiro, o que é.

E – Então o que W e C fizeram foi descobrir, isto é, eles colocaram o que é verdade.

A6 – É.

E – Na natureza é assim que a molécula está?

A6 – É.

E - ... será que algum dia alguém pode achar que a molécula do DNA não é uma dupla hélice?

A6 – Talvez sim.

E – Por quê?

A6 – Talvez comecem a pesquisar mais... e cheguem a outra conclusão...

E – Se a molécula do DNA é uma dupla hélice e este conhecimento é verdadeiro, pode então...

A6 – Aí não...

E – E se fosse chegado a conclusão que não é uma dupla hélice, ... o que vai acontecer com o conhecimento de agora, com a dupla hélice?

A6- ... sei lá, talvez não se acreditaria assim, né... se tentaria verificar os fatos e testar os resultados para ver se realmente aquilo é verdadeiro.

E – Se fosse provado que a outra teoria é melhor, o que aconteceria com essa? Seria esquecida? Deixada de lado?

A6 – Deixada de lado. Esquecida talvez não...

...

E - ...ela pode mudar?

A6 – A dupla hélice?

E – É.

A6 - Talvez possa mudar, mas não muito...

E – Essa estrutura de dupla vai continuar?

A6 – eu acho que sim.

E – Por que é um conhecimento verdadeiro?

A6 – É.

...

E – (Comenta agora sobre a polêmica da liberação ou não dos transgênicos, que afeta nossa região produtora de soja). Será que nessa questão dos transgênicos não seria suficiente ouvir apenas a opinião dos cientistas?

A6 – Eu acho que até seria...mas é que tem outros interesses, né...

E – Que outros interesses?

A6 – Das empresas, ...agrotóxicos...

E – Se você tivesse só cientistas nessa comissão, isso seria evitado?

A6 – Seria.

E – Por quê?

A6 – Com certeza eles não iriam aceitar, por causa do grande uso de agrotóxicos...talvez não proibiriam, talvez até liberassem, mas com algumas restrições...

E – Você concorda se eu disser que as decisões científicas, decisões dos cientistas levam em consideração o bem estar da humanidade e as regras do mercado econômico visam a maior parcela do lucro?... os cientistas pensam sempre no bem estar da humanidade?

A6 - Talvez nem sempre, mas eu acho que sim, a maioria pensa.

E – então se eu tivesse nessa comissão só cientistas, eu garantiria uma decisão mais neutra?

A6- É.

...

E - ... e a população também tem um papel importante...?

A6 – A população teria para se conscientizar, pelo menos quando ela vai escutar a opinião dos cientistas ela vai entender porque ele está colocando aquela posição...

...

Entrevista com o estudante A7 – dia 09/12/04, sexo masculino.

E – Não foi transcrita por problemas técnicos (ficou com um som muito baixo, inaudível).

Entrevista com a estudante A8 – dia 12/11/04, sexo feminino

E – (Introduz o assunto sobre o DNA). O que você lembra quando ouve falar em DNA?

A8- Acho que a primeira coisa que a gente lembra quando ouve falar em DNA, é sobre nós mesmos. Sobre como tu é, sobre tuas características, sobre...também agora, devido ao avanço da tecnologia, sobre o que pode ser mudado da nossa base que é de DNA..

E -... o DNA ta onde?

A8 – Ta na célula.

E - ... como é que é a estrutura dessa molécula?

A8 – A estrutura dela é uma dupla hélice. Apesar de que, acho que foi no Fantástico- (um programa da Rede Globo de televisão) - que eu vi que havia uma possibilidade de ser uma tripla hélice. Mas depois não ouvi mais nada...

E – Quem foi que propôs essa dupla hélice?

A8 – Watson e Crick.

E - ...como é que a gente sabe que o DNA é uma dupla hélice?

A8 – Por causa das ligações... da estrutura...por que a gente já conhece...

E – (mostra as figuras que representam a estrutura do DNA e as explica, mostra também as fotografias de DNA por difração de Raios-X). Onde está a molécula do DNA, na microfotografia do DNA?

A8 – Acho que não parece mais uma escadinha...

...

E- Quando você fez aula de citogenética, vocês fizeram a extração de DNA a partir da cebola. Você conseguiu ver a dupla hélice?

A8 – Eu não lembro, já faz tanto tempo...

E - ... (conversa sobre a técnica, que permite apenas ver os fios da molécula, e não a sua estrutura). ...Mas, se ninguém viu uma molécula de DNA com a estrutura de dupla hélice. O que nós conhecemos, na ciência, é o modelo proposto pelos dois cientistas: o W e o C. (explica como W e C, segundo os historiadores, conseguiram chegar até a proposição da dupla hélice, a partir de modelos, sem fazer, eles mesmos experimentos).

Você acha que na ciência a gente pode construir conhecimento científico só a partir de idéias, de teorias, sem fazer experimento?

A8 – Acho que não, porque ciência é justamente isso, né, que tu tem que provar.

E – Você só consegue provar através de experimentos?

A8 – Através de experimentos, tem que fazer os experimentos para ti provar...

E - ... então, você só pode trabalhar na ciência aquilo que tem como provar experimentalmente?

A8 – É, experimentalmente.

E – bom, pensando assim, o W e C inventaram a estrutura da molécula do DNA. O que você acha?

A8 – Eu acho que eles, baseados numa idéia, acabaram tendo sorte...

E – Nos livros está escrito que W e C descobriram a molécula do DNA?

A8 – Mas eles viram essa molécula? Eles viram a dupla hélice?

E – Não. Eles construíram um modelo ...e convenceram a comunidade científica...

A8 – Então os outros pensavam que nem eles, através de idéias que eles já tinham, acharam que era assim.

E – Então nós podemos construir conhecimento somente a partir de idéias...

A8 – É, se for olhar por esse lado...é que tem coisas e coisas...

E – Será que algum dia, alguém pode concluir que o DNA não é uma dupla hélice e sim uma tripla hélice, como você disse?

A8 – Ah, eu não escutei mais nada a respeito disso, mas eu acho que sim.

E – Você acha que isso é possível?

A8 – Eu acho que sim, porque a ciência, ela evolui tanto, ... melhoram os recursos...

...

E – O modelo de dupla hélice, eu poderia dizer que ele foi descoberto por W e C?

A8 – Descobrir eu acho que não seria bem a palavra, porque eles não viram a dupla hélice.

E – e para descobrir eu preciso ver?

A8 – eu acho que sim, no momento não tem como tu fazer um experimento científico, digamos longe, ou baseado numa pesquisa. Experimento é experimento que tu faz...

E – (mostra a foto de difração por Raios-X e comenta da certeza de W e C de que o DNA era uma dupla hélice).

A8 – Mas baseado no quê? Se a gente olha pra cá não dá para dizer que o DNA é uma dupla hélice. (Questiona a informação de W e C)

...

A8 – Eu sou bem assim, tem que ver para ti provar, entende?

...

(a aluna lembra das figuras da Gestalt usadas pela professora na aula de metodologia e comenta):

A8 – ..então é que nem naquela figura do coelho e do pato. Bom, vai ver que com o conhecimento que eles (W e C) tinham eles conseguiram ver. Entende, porque se tu não sabe como é o pato, tu não vai ver o pato naquela figura...

E – como a gente lê nos livros de que W e C descobriram a estrutura do DNA, então exatamente, descobriram não é a palavra correta...nesse caso. ... será que na natureza a molécula do DNA é assim?

A8 – eu não vi.

E – Você só vai acreditar se você ver?

A8 - É. ...eu acho que ciência é isso, ou tem que ficar claramente provado...

E – Na ciência para a gente construir conhecimento científico, o que a gente precisa?

A8 – Certeza.

E – E como a gente vai ter certeza?

A8 – Através de experimentos.

E – Experimentos e teorias...

A 8 – ... Para tu ter o experimento tem que ter a teoria primeiro. Tu tem que saber sobre a coisa que tu vai trabalhar...

E – Mas só teoria não basta?

A8 – Eu acho que não, não na ciência...tem que ter estes experimentos, tem que ficar provado...

E – Quando a gente estuda DNA, a gente usa modelos...Eu poderia dizer que o modelo do DNA é uma cópia da realidade?

A8 – Que o nosso DNA é assim?

E – Que este modelo é a cópia da realidade?

A8 – É isto que foi proposto, né.

E – Então não tenho certeza de que ele é cópia da realidade?

A8 – Não.

E – Então modelo não é, necessariamente uma cópia da realidade?...

A8- A gente ainda não sabe, mas quem sabe um dia a gente vai descobrir...

...

E – (comenta sobre os avanços tecnológicos que resultaram a partir da estrutura do DNA e toda a polêmica em torno dos transgênicos, por exemplo). ... nessa comissão não bastaria ter apenas cientistas?

A8 – Olha, olhando pelo lado da ciência, pelo lado legal, os efeitos.. eu acho que deveriam ser consultados só cientistas, principalmente os que entendem, né? Só que... (inaudível)...entra a política no meio, entra o poder econômico...

E – Mas se, p. ex., o governo fosse ouvir apenas os cientistas para liberar ou proibir os transgênicos...

A8 – Eu acho que sim, porque quem que entende disso? Quem entende dos efeitos dos transgênicos no nosso organismo? Quem entende quais as conseqüências e quais os benefícios são os cientistas...

...

E – Os cientistas não têm comprometimento também com estas grandes empresas?

A8 - No caso os cientistas das grandes empresas devem ter alguém superior a eles... deveria ser alguém de fora das empresas...

...

E – O cientista que não é funcionário de uma empresa, quando ele está trabalhando num laboratório de uma Universidade, p. ex., ele sempre vai levar em consideração o bem estar da humanidade?

A8 - ...É.

E – Eu poderia dizer que o cientista é uma pessoa neutra, que não está comprometido?

A8 – É. Tá comprometido com o conhecimento.

E – E o cidadão também deveria participar nessas decisões?

A8 – Eu acho que não. Porque o povo não tem o conhecimento necessário para isso, às vezes, a gente escuta uma coisa daqui, outra coisa dali, mas não tem certeza se é verdade. Mas então os cientistas provar que aquilo era bom...eu acho que a gente deveria só ouvir a opinião deles...os cientistas são neutros...

E – (encerra a entrevista).

Entrevista com a estudante A9 – dia 12/11/04, sexo feminino.

E – Quando a gente fala DNA, o que você lembra?

A9 – Da dupla hélice.

E – Você já estudou a molécula do DNA. E a dupla hélice é o que?

A9– Dupla hélice é a estrutura do DNA, como se comportam as moléculas.

E – Como é que a gente sabe que a estrutura do DNA é uma dupla hélice?

A 9– como é que a gente sabe?... como foi feita a descoberta... deixa eu me lembrar...

E – Você lembra quem que propôs a dupla hélice para a estrutura?

A 9– Olha, nome eu sou um caos... eu não lembro.

E – foi o Watson e o Crick que propuseram esta dupla hélice. Mas, aqui quando você vê nesta gravura aqui, nesta gravura primeira aqui, você tem a representação do modelo de estrutura do DNA, né? Aqui você tem o modelo da representação molecular e a representação esquemática.

Como é que a gente sabe que esta molécula tem esta estrutura assim? Como a gente vê estes modelos e estas representações.

A9 – Bom... eu acho que é porque tem a ver com as ligações químicas, né? A posição das moléculas...

E – Nesta gravura, aqui de cima, que é uma micrografia eletrônica de DNA, assim que a vê a molécula do DNA ao microscópio eletrônico. É isso que a gente consegue ver. A minha pergunta é: quando a gente olha para esta micrografia,... onde a gente vê a dupla hélice?

A 9– Bom, aqui...se vê uma né? Aqui seria a mesma, continuação da mesma, ou seria... aqui eu estou vendo que tem uma só, né... e aqui parece que é este formato aqui...mas não é, é continuação da mesma...

E – Mas, aqui nesta fotografia a gente não vê a dupla hélice como a gente vê neste modelo, certo? Tanto o modelo espacial quanto a representação esquemática.

A 9– É, este modelo é um esquema usado para nós interpretarmos melhor a dupla hélice, não que a gente vai ver assim.

E – mas como o Watson e o Crick chegaram a propor esta dupla hélice?

A 9– eu deveria saber isso...

E - ...mas eles usaram dados de outros pesquisadores, né. Uma das fontes que eles utilizaram foi a difração de raios X que a Rosalind Franklin e o Wilkins faziam,...eles faziam fotografias de difração de raios X a partir do DNA. E foi olhando para uma dessas fotografias que eles tiveram a idéia de que a dupla hélice seria a estrutura do DNA.

...Watson e Crick não fizeram experimentos, eles usaram os dados dos outros...eles construíram um modelo. Um modelo a partir dos dados da difração de raios X e dos dados da química, da proporção de bases feita por Chargaff...

Essa dupla hélice é um modelo de estrutura. A gente tem certeza que a molécula do DNA é uma dupla hélice?

A 9- ...(não respondeu)

E – ...um dia este modelo pode ser repensado?

A 9– Acho que sim.

E – quando é que os cientistas podem chegar a repensar?

A 9– (silêncio). Podem até repensar talvez até... sem querer, talvez. Com alguma experimentação que eles façam... que eles chegam a outra conclusão.

E – então poderá ser através de uma experimentação...

...

E – Mas, quando W e C fizeram a proposição da estrutura de dupla hélice, na verdade eles dois não fizeram experimento nenhum. Eles se valeram dos dados que outros cientistas obtiveram e a partir destes dados eles criaram um modelo. O que você acha disso? Você acha que isso é um procedimento comum na ciência?

A 9– Eu acho que sim. Muito conhecimento que se tem se obteve não só através de uma pessoa trabalhando em cima daquilo ali, mas sim com pessoas, outros

cientistas com propósitos diferentes trabalhando, e chega uma certa altura em que ... informações se encaixam, aí pode levar o raciocínio para o outro lado...

E – então se pode construir conhecimento científico a partir de idéias?... ou estas idéias sempre devem ter uma base experimental?

A 9- ... pode se ter idéias, mas idéias... e depois fazer o experimento, simplesmente a partir de idéias, acho que não. É que na verdade, no mundo científico, ocorre isso né? Tem que ser experimentado e concluído dentro das normas científicas.

(...)

E – A gente poderia dizer que os cientistas inventaram a dupla hélice, ou os cientistas descobriram a dupla hélice?

A 9- eles... seria muito... assim, desmistificante dizer que eles inventaram, né? Mas, eu acho que ... até agora o que se pensa, o que eles pensaram, que os outros cientistas pensam fecha com o mesmo pensamento deles e então este modelo não foi abolido ainda.

E – será que um dia pode ser mudado?

A 9- Eu acho que pode.

(...)

E – O DNA é um modelo. O que são os modelos?

A9- Modelo é uma representação visual de algo que se acredita ser ou que realmente é, como por exemplo se têm os modelos anatômicos. Esses são como são. E tem outros modelos que se imagina ser e se faz uma estrutura para que as pessoas consigam visualizar... essa idéia que se tem sobre esse assunto.

E – Os modelos seriam como cópias da realidade?

A 9- cópias?... Bom, na verdade nunca se sabe o que é a realidade... Eu, particularmente não costumo achar que as coisas são absolutas...

Mas, os modelos não seriam uma cópia da realidade. Mas um projeto do que se acha do que é.

(...)

E – (Encerra a entrevista, pois encerrou o horário e a aluna não pode perder o horário do ônibus).

Entrevista com a estudante A10 – dia 12/11/04, sexo feminino.

E – Bem...você já estudou sobre DNA... O que você ouviu falar em DNA, o que você lembra?

A10 – Genética.

E- Lembra de Genética.

A10 – Aula de Biologia, ah, hereditariedade, tudo o que envolve as características das pessoas.

E – Bom! Tudo que envolve as características das pessoas... isso lembra o DNA. E como é que é o DNA?

A10 – Descrever a fisiologia da molécula? É uma molécula formada por ... é chamada de dupla hélice, né! Formada pelas bases nitrogenadas: adenina, timina, citosina e guanina. Tem formato helicoidal. Que mais...

E – Bom! Você falou que o DNA tem formato helicoidal e antes você falou que ele é uma dupla hélice. Essa, então, é a estrutura do DNA. Você já viu uma molécula de DNA?

A10 – Só a de cebola, da célula de cebola que a gente fez em aula prática de citogenética.

...

E – O DNA da cebola tinha o formato helicoidal?

A10- Não deu para ver muito. Só que era branquinho, assim, enrolado em volta do bastão de vidro que a gente mexia dentro do becker e dava para ver só assim uma...

E – Um fio?

A10- É um fiozinho branco.

E – E nas gravuras que a gente vê nos livros, por exemplo essa gravura aqui (mostra a gravura da Figura 1)representação esquemática e essa outra que é a representação do modelo espacial.... Essa representação da dupla hélice você não viu lá quando você enxergou o DNA da cebola?

A10 – Não.

E- Mas, de onde a gente sabe que a molécula do DNA é uma dupla hélice?

A10 – Eu acho que pelas ligações entre as bases, que são as pontes de hidrogênio... une uma fita à outra formando a dupla hélice.

E – Mas, desde quando a gente sabe que o DNA é uma dupla hélice?

A10 – A partir dos estudos de Watson e Crick. ... o ano eu não lembro...

E – Em 2003...

A10 – 1953.

...

E – Então, o Watson e o Crick, eles propuseram, ou eles descobriram, como a gente lê nos livros, que o DNA é uma dupla hélice. Como você imagina, então que é o DNA na natureza? A estrutura do DNA na natureza? A gente tem certeza de que a estrutura do DNA na natureza é uma dupla hélice?

A10 – Olha, profe, eu sei que é dupla hélice porque a gente estuda, sempre né, nos livros assim a gente estuda. Mas é difícil de ver, como na aula prática que a gente teve não era uma coisa que tu via como é a figura que estava no livro. Então naquela aula a gente pensou: ah, é tão simples!

....

E – Quando o Watson e o Crick fizeram a proposta da dupla hélice para a estrutura do DNA eles usaram conhecimentos de outros pesquisadores. Você já ouviu falar em outro pesquisador que tenha ajudado o Watson e o Crick a chegar à proposta da estrutura de dupla hélice?

A10 – Eu não lembro...

E – Só lembra do Watson e do Crick...

A10 – É!

...

E- Nessa reportagem da revista Ciência Hoje aparecem duas fotografias feitas a partir de DNA... e que foram feitas usando uma técnica chamada difração por raios-X... A Rosalind Franklin....na história a gente encontra relatos que dizem essas duas fotografias, principalmente a fotografia B, teria sido decisiva para a conclusão de Watson de que o DNA só poderia ser uma dupla hélice... como você vê essa fotografia? Olhando para ela você também diria que é uma dupla hélice?

A10 – Não.

E- Por que não?

A10 – Eu não saberia interpretar essa figura.

E – E porque você acha que o Watson teve essa idéia?

A10 – (silêncio). Não sei...

E – Por que ele tinha conhecimentos que nós não temos?

A10 – Ah, sim, com certeza!

E – Mas, Watson e Crick , quando eles fizeram a proposta de que a dupla hélice seria a estrutura para o DNA, além do conhecimento da Física (as fotografias) eles também usaram conhecimentos da química...na verdade foi uma construção de um coletivo de pesquisadores envolvidos. O Watson e o Crick , na verdade, eles dois não fizeram experimentos em laboratório. Pensaram a estrutura do DNA a partir dos dados dos experimentos de outros pesquisadores. Eles próprios não fizeram experimentos...(explica a construção dos modelos).

Quando a gente fala em modelos na Biologia, como esse da dupla hélice, como é que a gente poderia definir o modelo? O que seria um modelo, em Biologia?

A10 – Modelo é a representação de alguma coisa, de um corpo, de uma estrutura que a gente quer representar.

E- Esse modelo é uma cópia da realidade? Ou ele é apenas uma forma para a gente explicar uma realidade que a gente não pode ver? Como a gente a imagina...

A10 – É uma forma de explicar.

E – Ele não é uma cópia da realidade?

A10 – Eu acho que pode ser que seja as duas coisas, será que não? É uma cópia da realidade e através dessa cópia a gente quer representar e explicar.

E – Então o modelo pode ser, apenas como alguém, como o cientista imagina que seja a realidade. Não necessariamente o modelo tenha que ser a realidade...como é a realidade...

A10 – Sim.

....

E – Mas, se a gente não tem certeza que esta estrutura é assim,... Um dia será que essa estrutura pode mudar? Poderemos ter uma outra estrutura?

A10 – Acredito que não.

E – Por quê?

A10 – Eu acho que já tem bastante estudos sobre este assunto. Acredito que não sejam, assim, tão errados para estarem representando de uma forma errada uma estrutura...

E – Quando você falou que vê o modelo de DNA como sendo uma forma de a gente falar de como a gente imagina a realidade, não necessariamente como sendo uma cópia dessa realidade... então a gente não pode afirmar que o Watson e o Crick **descobriram** a estrutura do DNA... O que significaria descobrir para você?...

A10 – É porque ninguém, anteriormente, tinha estudado, tinha mencionado determinado assunto. Se foi descoberto é porque ninguém sabia...

E- Ninguém sabia mas já existia aquilo?

A10 – Já, podia existir, mas ninguém sabia.

E – Então em 1953, quando Watson e Crick propuseram a dupla hélice... a dupla hélice já existia na natureza...

A10 – Sim!

....

E - O que seria inventar para você?

A10 – Inventar é construir uma coisa que nunca existiu...

...

E – Mas, na natureza o DNA existe, isso não temos dúvida... mas, a estrutura que o DNA tem na natureza, de fato, é uma dupla hélice? Ou poderia ser uma tripla hélice?

A10 – Eu acho que ele não pode ser uma tripla hélice na natureza... porque ele é uma molécula formada por duas fitas que se unem e adquirem esse formato helicoidal ...

...

E – Quando um cientista cria um modelo, ele pode se basear apenas em fatos experimentais, ou apenas em teorias, ou precisa as duas coisas?

A10 – Ele precisa unir a teoria com o experimento. Porque só a teoria não te dá certeza.

E – Mas é só o experimento não me dá certeza também?

A10 – Eu acho que para fazer os experimentos precisa da teoria...

...

(A entrevistadora comenta sobre a Lei de Biossegurança).

E – Como você vê o papel que o cientista e que a ciência tem neste projeto de Lei que a Câmara dos Deputados está votando?

A10 – Eu acho papel dos cientistas é muito importante porque até não seria possível, pessoas leigas que não tem conhecimento sobre o assunto decidir sobre o assunto. .. É imprescindível que se tenha o meio científico envolvido....

...

E – E daí, não seria suficiente apenas os cientistas falarem? ...

A10 – Não, acho que tem de ter os representantes da população...os políticos...

E – ...Os cientistas pensam sempre no bem estar da humanidade?

A10- Nem sempre... Mas, na maioria das vezes, sim...

....

(Encerra a entrevista, agradecendo a participação da aluna).