



CONTEÚDOS DE GENÉTICA BÁSICOS PARA A FORMAÇÃO DE CIDADÃOS CRÍTICOS NO ENSINO MÉDIO SEGUNDO PROFESSORES E DOCENTES: EM COMPARAÇÃO COM O DEFENDIDO NA LITERATURA

Fernanda Franzolin – UEL e USP

Nelio Bizzo – USP

Apoio: FAPESP

Resumo: A Genética trata-se de uma área em expansão, gerando reflexões sobre quais de seus tópicos são importantes para serem ensinados no âmbito escolar. Esta pesquisa procurou identificar os conhecimentos básicos sobre Genética para a formação de cidadãos críticos no Ensino Médio, segundo professores deste nível de ensino e docentes universitários. Para tanto, entrevistaram-se professores de dois contextos diferentes, São Paulo (SP) e Kalamazoo (MI, EUA) que lecionam Biologia no Ensino Médio e docentes que lecionam disciplinas relacionadas à Genética e Biologia Molecular na Universidade de São Paulo e na Western Michigan University. Os conteúdos mais preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados de ambos os contextos foram: *Padrões de herança (Leis de Mendel)*, *Divisão celular*, *Genética Molecular (DNA, Expressão gênica)*, *Aplicações da Genética (Biotecnologia)* e *Gene*. Nas discussões comparou-se o defendido pelos entrevistados com o defendido na literatura, encontrando-se algumas aproximações e distanciamentos.

Palavras-chave: ensino de Genética, currículo, herança monogênica, características complexas.

Introdução

Se olharmos para o desenvolvimento da área de Genética, podemos verificar que ela vem passando por um constante desenvolvimento. O conceito de gene, por exemplo, tem adquirido diferentes versões ao longo de seu desenvolvimento e dentro de cada uma das subdisciplinas da Biologia que passam a utilizá-lo (FLODIN, 2009).

O sequenciamento do genoma tem propiciado uma nova visão do DNA para o século XXI. Hoje se conhece, por exemplo, a abundância de transposições proporcionada pela mobilidade do DNA, pelas quais fragmentos de uma molécula, chamados de elementos móveis ou transponíveis, podem ser rearranjados em outros locais do genoma. Esse conhecimento traz consequências não só aos conhecimentos mais relacionados à área da Genética, mas também a outras áreas, tais como a Evolução. Enquanto anteriormente considerávamos as mutações geradas por erros de replicação, que geram a alteração de pares

de nucleotídeos, como a principal causa da evolução das proteínas, hoje já é amplamente aceito que isso se deve muito mais aos rearranjos dos éxons do DNA (SHAPIRO, 2010).

Outro campo de desenvolvimento da Genética refere-se às tecnologias geradas em decorrência de sua aplicação. Nos últimos anos, pesquisadores da área de ensino de Biologia vêm se preocupando com o ensino de tópicos relacionados à Biotecnologia atrelada à Genética. Ao procurar verificar como os conhecimentos referentes à aplicação da Genética encontram-se nos livros didáticos, Xavier, Freire e Moraes (2006) demonstram-se preocupados com a ausência desses conteúdos nos livros didáticos, assim como outros pesquisadores, Dawson e Soames (2006), Martínez-Gracia e Gil-Quílez (2003), Pedrancini *et al.* (2007), Pedrancini *et al.* (2008) e Usak *et al.* (2009), também se mostram preocupados com a necessidade de esses conteúdos serem abordados com qualidade nesses materiais escolares. Bonzanini e Bastos (2008), ao estudarem as concepções de alunos do Ensino Médio sobre clonagem, organismos transgênicos e Projeto Genoma, defendem que, pelo fato de tais temas estarem cada vez mais presentes na mídia e pela possibilidade de eles estarem relacionados a decisões a serem tomadas pelas pessoas na sociedade, faz-se necessário abordá-los nas escolas.

Bizzo (1995, 1998b) também aponta que questões em torno da clonagem e da programação genética de organismos trazem de volta temas polêmicos, como a eugenia. Ademais, como afirma Dougherty (2009), com o advento do Projeto Genoma Humano, características que antes se julgavam simples, determinadas apenas por um par de genes, hoje são consideradas complexas. Tanto para Bizzo (1998b) como para Dougherty (2009), não basta mais dominar problemas matemáticos envolvendo a genética mendeliana para que os estudantes entendam suas características e questões que a envolvem. É preciso que os alunos compreendam que não há mais uma simples relação entre genótipo e fenótipo e que suas características são determinadas por fatores desenvolvimentais, ambientais e pela interação entre os genes.

Isso evidencia que novas demandas são exigidas no ensino de Genética, esperando-se que ocorra o ensino e a aprendizagem de temas atuais relacionados à área.

Dentre os trabalhos acadêmicos sobre o ensino de Genética, diferentes autores apresentam diferentes concepções sobre os conteúdos que consideram básicos a serem ensinados.

Ayuso e Banet (2002) propõem a diversidade como ponto de partida para tratar a herança biológica. Na sequência, defendem que os alunos devem compreender que essa herança se encontra nos cromossomos, dentro da célula, bem como a participação do processo

de mitose e meiose na transmissão da característica hereditária de célula a célula e de indivíduo a indivíduo. Posteriormente, sugerem ensinar que os genes são responsáveis pela herança e estão localizados nos cromossomos, e que todas as células de um indivíduo possuem as mesmas informações hereditárias. Por fim, seriam abordados os mecanismos de herança, o que necessitaria habilidades de manipulação com algoritmos.

Dentre os tópicos sugeridos por Camargo e Infante-Malaquias está a abordagem do padrão de herança monogênica como um dentre os vários padrões de herança de caracteres humanos, e não como uma regra geral. Desse modo, julgam importante mencionar que há outros tipos de padrões de herança e reforçar a influência de fatores ambientais, e não apenas genéticos, na expressão das doenças, evitando-se, portanto, o determinismo genético.

Estes autores sugerem também a desmitificação de certos conceitos que os alunos possam ter, como por exemplo, quando consideram que a reprodução sexuada não ocorre em vegetais e que os cromossomos sexuais só existem em células sexuais e humanas. Concordam, ainda, com Smith (1991), recomendando a ênfase ao processo de meiose para que os alunos possam compreender os conceitos envolvidos nos problemas de Genética, em vez de enfatizar resultados percentuais esperados.

Já Bizzo e El-Hani (2009) discutem a frequente abordagem dos conteúdos de Genética anteriormente ao conteúdo de Evolução. Segundo os autores, os adeptos da precessão dos conteúdos de Genética aos conteúdos de Evolução acreditam que Charles Darwin poderia ter desenvolvido um sistema de ideias muito mais próximo da chamada Teoria Sintética caso tivesse conhecido os resultados de Gregor Mendel, e o mesmo seria aplicável aos alunos. Entretanto, Bizzo e El-Hani (2009) apresentam evidências que apóiam a hipótese de que Darwin conhecia os resultados dos experimentos com ervilhas de Mendel. Entretanto, o conhecimento dos resultados de Mendel por Darwin não garantiria que este último desenvolvesse uma teoria evolutiva mais complexa, pois ambos estavam apoiados em bases teóricas diferentes sobre a influência de fatores internos e externos na determinação dos organismos. Do mesmo modo, o fato de os estudantes conhecerem os trabalhos de Mendel sobre herança pode não garantir a compreensão da compatibilidade de suas ideias com as de Darwin, algo que demorou décadas para ocorrer historicamente.

Já Bridgforth (1993), diante de evidências de que os alunos estavam deixando o ensino secundário com apenas conhecimentos básicos sobre uma ou outra “doença” genética, defende a importância de se ensinar sobre tais anomalias, principalmente as quatro mais frequentes nos Estados Unidos: fibrose cística, doença de Tay-Sachs, anemia falciforme e talassemia.

Argumentos em prol da qualidade em detrimento da quantidade também podem ser encontrados. Ayuso e Banet (2002), ao propor alternativas para o ensino de Genética na educação secundária, dizem que o *tempo* é um elemento necessário para que os alunos realmente aprendam sobre a herança biológica e conquistem modificações substanciais em suas habilidades intelectuais. Desse modo, consideram que os conteúdos devem ser selecionados de forma mais crítica e fundamentada, levando-se em conta sua utilidade formativa e tendo como preocupação maior o alcance da qualidade de aprendizagem em vez da quantidade.

Portanto, sendo a Genética uma área cujos conteúdos se encontram em constante expansão torna-se importante refletir sobre o que ensinar. Como uma das preocupações da educação básica brasileira o preparo do aluno para o exercício da cidadania, inclusive expresso em lei (LDB 9394/96, Art. 2.º), a presente pesquisa procurou verificar quais são os conteúdos considerados básicos para a formação de um cidadão crítico, segundo professores que lecionam Biologia no Ensino Médio e docentes que lecionam disciplinas relacionadas à área de Genética no Ensino Superior.

Diferentemente das pesquisas anteriormente mencionadas, não se pretende aqui questionar o sequenciamento dos conteúdos no currículo com base na História da Ciência ou apresentar propostas curriculares baseadas na experiência do autor. O que se pretende é verificar o que os professores que trabalham na sala de aula ensinando os estudantes e os docentes que formam os futuros professores de Biologia nas universidades e estão mais próximos do conhecimento produzido pela academia julgam básico ensinar no Ensino Médio para que os alunos se tornem cidadãos críticos.

Metodologia

Para atingir os objetivos desta pesquisa, foram realizadas entrevistas em dois contextos.

No primeiro contexto, foram entrevistados docentes das disciplinas de Genética e Biologia Molecular da Universidade de São Paulo (USP) e professores de Biologia de Ensino Médio de escolas da cidade de São Paulo.

Para validar os dados coletados neste primeiro contexto, entrevistaram-se também docentes da Western Michigan University (WMU) e professores da cidade que sedia seu principal campus, Kalamazoo (Michigan, Estados Unidos da América (EUA)). Desse modo, pretendia-se verificar se os resultados obtidos são aplicáveis a um contexto específico ou se

podem ser aplicados para contextos diferentes. Assim, procuraram-se evitar vieses, buscando grupos diversos, sujeitos a influências socioculturais muito diversas.

A presente amostra foi composta de 24 entrevistados, seguindo os critérios a seguir descritos.

Para determinar a amostra foi utilizado o critério da máxima variação (PATTON, 1990). Isso significa que essa amostra envolveu apenas poucos casos, porém os diferentes possíveis, procurando evitar vieses.

Desse modo, pretendia-se evitar entrevistar apenas professores que trabalhavam em escolas onde os alunos tinham maior nível de aprendizado, ou apenas aqueles que trabalhavam em escolas onde os alunos possuíam um rendimento inferior. No caso São Paulo estabeleceu-se, portanto, que essa amostra seria composta de um professor de cada uma das três escolas cujos alunos tiveram ótimos índices de desempenho no ENEM de 2007 (Exame Nacional do Ensino Médio) na cidade de São Paulo e um professor de cada uma das três escolas cujos alunos tiveram os índices inferiores desempenho nesse mesmo exame. Desse modo, ao total foram entrevistados seis professores de Ensino Médio que conviviam com diferentes realidades escolares e alunos com diferentes níveis de aprendizagem. No caso de Kalamazoo recorreu-se aos resultados de exames realizados com os alunos da *High School*, especificamente os exames de primavera (*spring tests*) do ACT (American College Testing) e o MME (Michigan Merit Examination). O importante para a constituição da amostra, segundo o critério da máxima variação, era que em ambas as listas (lista de desempenho do ACT e lista de desempenho do MME) as escolas que compusessem a amostra se encontrassem divididas igualmente entre esses dois grupos.

Na constituição dessa amostra, diferentemente do caso de São Paulo, tomou-se cuidado com a composição da amostra quanto ao número de escolas públicas e privadas. Procurou-se evitar a escolha de apenas escolas de um determinado grupo, já que as escolas privadas eram geralmente religiosas.

Quanto aos docentes, procurou-se não entrevistar apenas aqueles responsáveis pela disciplina Genética, para evitar que uma possível tendência em valorizar o ensino da Genética Clássica influenciasse os dados. Desse modo, procurou-se compor metade da amostra de docentes por aqueles que lecionam Genética Molecular. A amostra de São Paulo, então, ficou composta por seis docentes, três de cada área. Alguns docentes entrevistados lecionavam as duas disciplinas. A mesma composição ocorreu no contexto do Kalamazoo.

Com a autorização dos entrevistados as entrevistas foram registradas com um gravador digital de voz, o qual reproduz um som de qualidade suficiente para favorecer a transcrição.

Após a transcrição e organização dos dados, o processo imersão dos dados iniciou-se com a tentativa de se desenvolver familiaridade com eles, verificando como os conteúdos e suas justificativas eram apresentados pelos entrevistados e buscando alternativas de análise, mais especificamente de categorização, neste caso, elaboração de categorias de conteúdos.

Para a presente análise foram considerados apenas os conteúdos mencionados pelos entrevistados sem a intervenção adicional da pesquisadora, ou seja, aqueles mencionados como básico somente com base na questão central da entrevista.

Verificou-se que nem todos os conteúdos são conceituais e/ou estão explícitos, podendo ser procedimentais e/ou estarem implícitos, devendo também ser considerados.

Notou-se que as algumas categorias de conteúdos podiam incluir outras, julgou-se que ambas deveriam ser consideradas por trazer significados específicos que a categorização poderia omitir. Por exemplo, um dos entrevistados se referia à importância de se ensinar sobre “Codominação”. Julgou-se importante conservar essa expressão como um conteúdo, pois apesar de ele estar associado ao tópico *Padrões de Herança*, nem todos os entrevistados que acreditam que ensinar esse último conteúdo seja importante podem necessariamente concordar com o ensino do primeiro.

Julgou-se pertinente estabelecer as categorias durante a análise, e não previamente, considerando, principalmente, aquelas provenientes da própria fala do entrevistado.

Para realizar a análise dividiram-se os dados por grupos de entrevistados. Primeiramente, julgou-se importante analisar os dados coletados nos dois contextos (São Paulo e Kalamazoo) separadamente, já que o objetivo de realizar a coleta de dados nesses dois contextos era validar os dados coletados no Brasil, verificando se os resultados obtidos se aplicam a um contexto específico ou se podem ser aplicados a contextos diferentes. Dessa forma, os entrevistados de cada localidade foram agrupados em dois *grandes grupos*: o *grupo dos entrevistados de São Paulo* e o *grupo dos entrevistados de Kalamazoo*. Os dados do primeiro grande grupo foram analisados e comparados com os do segundo, buscando similaridades e diferenças de opiniões.

Foram também examinados isoladamente os dados coletados no grupo de professores e no grupo de docentes, e depois contrastados, para verificar se a opinião dos entrevistados era a mesma nos dois grupos. Portanto, em cada grande grupo foram formados dois *subgrupos*, o *subgrupo de professores* e o *subgrupo de docentes*.

Para verificar se a resposta desses entrevistados não foi influenciada pela facilidade que seus alunos têm ou não para aprender (no caso dos professores) ou pela sua familiaridade com a área de Genética ou Biologia Molecular (no caso dos docentes), também se dividiu

cada subgrupo em *grupos menores*. Com relação aos professores, foram criados o *Grupo 1* (correspondente aos professores que lecionam em escolas onde os alunos apresentaram desempenho inferior nos testes) e o *Grupo 2* (correspondente aos professores que lecionam em escolas onde os alunos apresentaram melhor desempenho nos testes); com relação aos docentes, o *Grupo Genética* (correspondente aos professores que lecionam disciplinas relacionadas à área de Genética) e o *Grupo Biologia Molecular* (correspondente aos professores que lecionam disciplinas relacionadas à área de Biologia Molecular). É importante deixar claro que a intenção era agrupar os dados de maneira a perceber possíveis vieses derivados da origem dos entrevistados.

Após quantificar os dados, para facilitar a sua análise e descrição, elaborou-se um critério, baseado nos resultados quantitativos, para classificar os conteúdos de acordo com a preponderância de suas menções.

Como era necessário estabelecer critérios de classificação das frequências comuns a todos os grupos, resolveu-se usar porcentagens, deixando aqui claro para o leitor que esta pesquisa trabalha com uma amostra de apenas 24 entrevistados subdivididos em grupos que contém 12, 6 ou 3 entrevistados.

A partir da exploração inicial dos resultados, para se definir as classes de menção de um determinado conteúdo de acordo com a sua preponderância, tomaram-se os conteúdos com *pelo menos uma menção como básicos* pelo conjunto de professores/docentes entrevistados (ou seja, com porcentagem de menções maior ou igual a 8,33%) e realizou-se a redistribuição para esse conjunto selecionado de dados (Tabela 1). Como se pode verificar, a tabela mostra mudança expressiva somente a partir do terceiro quartil, ou seja, a partir do percentil 75.

Tabela 1 - Percentual de menções como básicos (sem intervenção) para os conteúdos referidos pelos professores e docentes entrevistados em São Paulo (Número de entrevistados = 12; Número de conteúdos mencionados = 238) e Kalamazoo (Número de entrevistados = 12; Número de conteúdos mencionados = 275)

Percentuais de menções (%)		
Estatísticas	São Paulo	Kalamazoo
Percentil 10	8,33	8,33
20	8,33	8,33
25	8,33	8,33
50	8,33	8,33
75	16,67	16,67
80	18,33	25,00

90	33,33	33,33
95	42,08	41,67

Portanto, estabeleceu-se que os conteúdos mencionados como básicos por uma porcentagem igual ou menor do que 16,67% dos entrevistados (valor do 3.º quartil) seriam considerados como conteúdos *pouco mencionados como básicos ou não mencionados como básicos*.

Também se verificou que ainda no nono decil encontra-se a porcentagem de 33,33%, o que significa que menos de 10% dos conteúdos foram mencionados por mais de 33,33% dos entrevistados. Desse modo, estabeleceu-se que os conteúdos com mais de 33,33% de menções seriam considerados como *preponderantemente mencionados como básicos*.

Já os conteúdos com uma porcentagem de menções superior a 16,33 e inferior ou igual a 33% foram considerados como *moderadamente mencionados como básicos*.

Tais critérios foram mantidos para todos os grupos, pois se considerou razoável a correspondência entre as porcentagens e o número absoluto de menções dentro dos grandes grupos, subgrupos e grupos menores.

Procurou-se ainda analisar qualitativamente e quantitativamente por categorias as justificativas dos conteúdos mais preponderantemente mencionados. O resultado da análise das justificativas será aqui apenas brevemente mencionado.

Resultados

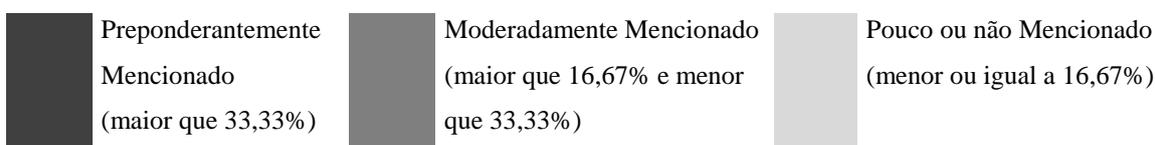
Como é possível verificar na Tabela 2, os conteúdos mais preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados em São Paulo são *Padrões de Herança* (100%) – principalmente *Leis de Mendel* (83,3%) –, *Divisão Celular* (83,3%) e *Genética Molecular* (75%).

Incluídos a esses conteúdos estão outros também preponderantemente mencionados.

Quanto a *Padrões de herança*, além de *Leis de Mendel*, outro conteúdo preponderantemente mencionado é *Interação gênica*, porém com uma frequência menor (41.1%)

Quando se fala de *Divisão celular*, *Meiose* é o conteúdo incluído mais preponderantemente mencionado.

= Grupo 1; G2 = Grupo 2; GG = Grupo Genética; GBM = Grupo Biologia Molecular; a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação).



Conteúdos mencionados por Entrevistados de São Paulo (São Paulo)	PM %	Subgrupos		Grupos Menores			
		Prof	Doc	G1	G2	GG	GBM
Preponderantemente mencionados como básicos							
Padrões de herança	100,0						
Leis de Mendel (herança monogênica e digênica; lei da segregação igual e segregação independente)	83,3						
Divisão celular	83,3						
Genética Molecular	75,0						
Expressão gênica (Síntese de Proteína)	66,7						
Aplicações da Genética / Biotecnologia	58,3						
Gene	58,3						
Meiose	58,3						
Engenharia Genética	50,0						
Genética Humana (Herança de características humanas)	41,7						
Estrutura do DNA	41,7						
Interação gênica	41,7						

Em *Genética Molecular*, os conteúdos mais preponderantemente mencionados relacionados são principalmente *Expressão Gênica* (66,7%) e *Aplicações da Genética (Biotecnologia)* (50%).

Dos conteúdos incluídos em *Aplicações da Genética*, *Engenharia Genética* é o mais preponderantemente mencionado (50%).

Outro conteúdo incluído em *Genética Molecular* preponderantemente mencionado, mas em menor frequência, é *Estrutura do DNA* (41,1%).

Dois conteúdos que também aparecem dentre os preponderantemente mencionados como básicos, porém com uma menor frequência de menções, são *Gene* (58,3%) e *Genética Humana (Herança de características humanas)* (41,7%).

Verificando os dados coletados no contexto de Kalamazoo para validar os dados coletados no Brasil, observou-se que alguns conteúdos são predominantemente considerados básicos nos dois contextos de pesquisa, como se pode ver na Tabela 3. Dentre os

mais preponderantemente mencionados, também estão *Padrões de herança* e *Genética Molecular*.

Tabela 3 - Conteúdos preponderantemente mencionados como básicos pelos professores/docentes de Kalamazoo (PM = Porcentagem de menções dentre os entrevistados de Kalamazoo; Prof = Professores; Doc = Docentes; G1 = Grupo 1; G2 = Grupo 2; GG Grupo Genética; GBM = Grupo Biologia Molecular; a numeração situada diante de cada conteúdo corresponde ao número de identificação atribuído ao mesmo durante a tabulação)

Conteúdos mencionados por Entrevistados de Kalamazoo (Michigan)	PM %	Sub Grupos		Grupos Menores			
		Prof	Doc	G1	G2	GG	GBM
Preponderantemente mencionados como básicos							
Genética Molecular	91,7						
Padrões de herança	83,3						
Expressão gênica (Síntese de Proteína)	66,7						
A estrutura do DNA	66,7						
Leis de Mendel (herança monogênica e digênica; lei da segregação igual e segregação independente)	58,3						
Gene	50,0						
Mutação	50,0						
Aplicações da Genética / Biotecnologia	50,0						
Replicação do DNA	50,0						
Divisão celular	41,7						
Codominância	41,7						
Genética de Populações	41,7						
Implicações da Biotecnologia	41,7						
Clonagem	41,7						

Quanto a *Padrões de herança*, o conteúdo incluído mais preponderantemente mencionado como básico é *Leis de Mendel*, mas sua frequência (58,35%) é menor do que no contexto de São Paulo (83,3%). *Codominância* é outro conteúdo incluído em *Padrões de herança*, também preponderantemente mencionado (41,7%).

Ainda sobre os conteúdos incluídos em *Padrões de herança*, o conteúdo *Interação gênica*, que aparece como preponderantemente mencionado pelos entrevistados de São Paulo, aparece como moderadamente mencionado pelos entrevistados de Kalamazoo (33,33), ou seja, com uma frequência ainda menor em comparação àquela encontrada no contexto de São Paulo.

Quanto ao conteúdo *Genética Molecular*, verificou-se que é o mais mencionado pelos entrevistados de Michigan; vários conteúdos incluídos nesse mais abrangente são ainda preponderantemente mencionados: *Expressão gênica* (66,7%), *Estrutura do DNA* (66,7%), *Mutação* (50%), *Aplicações da Genética (Biotecnologia)* (50%) e *Replicação do DNA* (50%).

Os conteúdos preponderantemente mencionados como básicos incluídos no conteúdo *Aplicações da Genética (Biotecnologia)* se diferenciam do caso de São Paulo, mostrando uma diferença na ênfase dada em cada localidade. O conteúdo *Engenharia Genética*, preponderantemente mencionado no contexto de São Paulo, é moderadamente mencionado no caso de Kalamazoo (25%). Entretanto, aparecem outros conteúdos preponderantemente mencionados neste último contexto: *Implicações da Biotecnologia* e *Clonagem* (41,7%), sendo ambos moderadamente mencionados como básicos em São Paulo (respectivamente, 33,3% e 25%).

O conteúdo *Divisão celular*, assim como no contexto de São Paulo, também foi preponderantemente mencionado no contexto de Kalamazoo, mas com uma frequência bem menor (São Paulo = 83,3%; Kalamazoo = 41,7%). Entretanto, os entrevistados da segunda localidade foram menos específicos do que os da primeira e, portanto, *Meiose* (33,3%) aparece dentre os conteúdos moderadamente mencionados, juntamente com *Mitose* (33,3%).

São ainda conteúdos também preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados de Kalamazoo *Gene* (50%) e, com uma frequência um pouco menor, *Genética de Populações* (41,7%). Em relação a esses, como anteriormente mencionado, o primeiro também é preponderante nas respostas de São Paulo e o último não aparece na tabela de dados de São Paulo.

Ao comparar os dados referentes aos professores com os dados relacionados aos docentes de São Paulo, é possível verificar na Tabela 2 a presença de alguns conteúdos que são preponderantemente mencionados como básicos em um grupo, mas pouco mencionados no outro.

Entre os dados de São Paulo, dois conteúdos aparecem como preponderantemente mencionados pelos professores, mas pouco mencionados pelos docentes: *Herança ligada ao sexo* e *clonagem*.

Outros conteúdos aparecem como preponderantemente mencionados pelos docentes, mas pouco mencionados pelos professores: *Código genético*, *Replicação do DNA*, *Cromossomo*, *Base cromossômica da herança*, *Filosofia da Ciência* e *Como o conhecimento é gerado*.

No caso dos dados de Kalamazoo, ao se observar a Tabela 4, verificou-se que a situação se repete com outros conteúdos. Foram preponderantemente mencionados pelos professores, mas pouco mencionado pelos docentes os conteúdos: *Genética Humana (Herança de características humanas)*, *Relação entre DNA e gene*, *Localização do gene*, *Anomalias genéticas (síndromes e doenças)*, *Consequências da mutação*, *Quadrado de Punnett e Probabilidade*.

Outros conteúdos aparecem como preponderantemente mencionados pelos docentes, mas pouco mencionados pelos professores; são eles *Engenharia Genética*, *Procedimentos relacionados à aplicação da Genética (como é feito)* e *Regulação da expressão gênica*.

Ao verificar se tais menções estavam concentradas em apenas um dos grupos menores (grupos 1 e 2 de cada localidade), verificou-se, no caso de São Paulo, que isso ocorria apenas quanto ao conteúdo *Código Genético*, o qual foi mencionado por todos os entrevistados do grupo de docentes que lecionam Biologia Molecular, mas não apresentou menções por aqueles que lecionam Genética.

No caso de Kalamazoo, dentro do grupo de professores, verificou-se a concentração de alguns conteúdos no Grupo 1, sendo mencionados por todos os entrevistados desse grupo, mas não mencionados pelos professores do Grupo 2, tais como: *Genética Humana (herança de características humanas)*, *Relação entre DNA e gene*, *Localização do gene* e *Anomalias genéticas (síndromes e doenças)*.

Ainda no contexto de Kalamazoo, o conteúdo *Regulação da expressão gênica* não foi mencionado pelo grupo de docentes que ensinam Genética, mas foi mencionado por todos os docentes do grupo que leciona Biologia Molecular.

Discussão

Nesta seção, procurar-se-á discutir os dados verificando se os conteúdos mencionados como básicos pelos entrevistados são os mesmos apontados pela literatura. Essa análise concentrou-se, entretanto, nos tópicos preponderantemente mencionados como básicos pelos entrevistados e naqueles relacionados à expressão das características complexas, defendidos, neste artigo, como importantes para uma desejada compreensão de herança.

Ao observar os resultados desta pesquisa, pode-se notar que determinadas posições dos entrevistados aproximam-se em alguns momentos e distanciam-se em outros do que os autores defendem na literatura.

Assim como Ayuso e Banet (2002), a maioria dos entrevistados considera básico o ensino dos padrões de herança. Entretanto, enquanto há participantes desta pesquisa, em especial os docentes, que criticam o ensino desse tópico focado na resolução de problemas, no uso do quadrado de Punnett e no cálculo de probabilidades, tais autores dão grande importância aos “problemas de lápis e papel”. Nas entrevistas, também se pode verificar que geralmente os professores, principalmente os pertencentes ao Grupo 2 dos dois contextos, defendem o ensino de tais elementos. No caso de São Paulo, seria importante mencionar que os dois professores defensores lecionam em escola particular, diferentemente dos demais entrevistados do contexto. Como os problemas são frequentemente cobrados em vestibulares e essas escolas se destacam na preparação de alunos para tais exames, esses professores podem ser influenciados pelos mesmos.

Para tais autores, ainda é importante desenvolver nos alunos uma visão adequada da natureza do conhecimento científico, mas sem necessariamente adotar uma perspectiva histórica, muitas vezes acompanhada de anedotas e imprecisões. Dougherty (2010) também defende a não-manutenção da sequência histórica nos programas de ensino, pois acredita que esta pode estimular uma visão determinista da Genética.

Já parte dos entrevistados, principalmente aqueles de São Paulo e/ou professores dos dois contextos, apresentam menções a favor da conexão do ensino dos padrões de herança com a História da Ciência. Ao menos para três entrevistados brasileiros, sendo dois deles docentes, parece haver uma união entre essa abordagem e a Filosofia da Ciência. Tais entrevistados dizem julgá-la importante para o estudante compreender como o conhecimento de Genética foi construído.

Já a opinião de que o ensino de divisão celular juntamente ao ensino de Genética é importante, foi preponderantemente apresentada pelos entrevistados, em especial os de São Paulo, também está presente em Camargo e Infante-Malaquias (2007) e Ayuso e Banet (2002). Assim como vários entrevistados de diferentes grupos, tais autores defendem que essa conexão é básica para os alunos compreenderem os padrões de herança. Além disso, Ayuso e Banet (2002), assim como três dos entrevistados, não consideram necessário conhecer as fases de tais processos de divisão. Para eles, o importante é os alunos compreenderem a consequência dos processos, pois têm dificuldades de entender as fases e facilmente as esquecem.

Outro conteúdo mencionado pela maioria dos entrevistados e também defendido pela literatura seria a Biotecnologia. Autores como Xavier, Freire e Moraes (2006), Nascimento (2005) e Ayuso e Banet (2002) preocupam-se com o ensino desse tópico. Ayuso e Banet

(2002) comentam que esses tópicos se proliferam em notícias presentes nos meios de comunicação.

Entretanto, o cotidiano fora da escola não está apenas relacionado aos conteúdos da Biotecnologia. Como a maioria dos entrevistados também afirmam em suas justificativas, é importante os alunos compreenderem como suas características se manifestam, ou seja, como elas se expressam, como são herdadas. Para tanto, esses entrevistados consideram importante ensinar as leis mendelianas e a Genética Molecular. Porém, seria de se questionar tais conteúdos são suficientes para os alunos compreenderem aspectos importantes relacionados consigo mesmos e seu dia a dia, e se outros elementos essenciais não estão sendo esquecidos ou menos valorizados.

Conforme afirma Dougherty (2009), com o avanço do Projeto Genoma Humano, foi possível compreender que muitas características complexas passaram a ser compreendidas, até mesmo aquelas que classicamente se considerava como características simples, antes explicadas simplesmente pelos padrões mendelianos de segregação, como a alcaptonúria. Tais características são consideradas como multifatoriais, produto da interação de vários genes e da dinâmica do ambiente. Dentre elas estão importantes problemas de saúde pública, tais como doenças cardíacas, câncer, acidente vascular cerebral e diabetes.

Notou-se, nesta pesquisa, que conteúdos importantes para a compreensão das características complexas não foram tão frequentemente mencionados pelos entrevistados como foram as leis mendelianas. No contexto de São Paulo, enquanto *Leis de Mendel* é mencionada pela maioria dos entrevistados (83,3%), conteúdos relacionados à interação entre genes são referidos por menos da metade deles (41,7%), sendo que, dentre os professores do Grupo 1, ninguém chegou a citá-los. Os conteúdos relacionados à influência do ambiente na determinação das características são ainda menos mencionados (por apenas 16,67% dos entrevistados). No contexto de Kalamazoo, as menções aos conteúdos relacionados à interação gênica foram ainda menos frequentes (mencionados por apenas 33,33% dos entrevistados), sendo que, entre os professores entrevistados do Grupo 2 e os docentes da área de Biologia Molecular, não houve entrevistado que mencionasse tais conteúdos. Os professores do Grupo 1 dessa localidade sequer chegaram a mencionar diretamente tais tópicos. Esses apenas aparecem dentre os conteúdos do currículo que eles apontam como básico. Ademais, assim como no contexto de São Paulo, a influência do ambiente na determinação das características foi mencionada como básica a ser ensinada apenas por dois entrevistados (ou seja, 16,67% da amostra de Michigan). Um discurso que apresentasse mais

a preocupação com tais questões foi encontrado em apenas três entrevistados, de diferentes grupos.

Bizzo (1998b) critica a relação determinista entre genótipo e fenótipo com que a Genética tem sido ensinada nas escolas, a qual explora a matemática para mostrar aos alunos qual será o fenótipo de seus filhos. Para o autor, tão importante quanto ensinar o que é um gene dominante é ensinar *penetrância e expressividade*, as quais estão presentes na expressão das características humanas. Isso seria importante para o aluno compreender, por exemplo, que o DNA não é uma fita com informações que se expressa em um produto único independente do meio onde se encontra. Bizzo (1998b) ainda aponta para outros problemas sociais que tal visão determinista pode causar, como o fomento de idéias eugênicas.

Camargo e Infante-Malaquias (2007) também defendem a abordagem das heranças genéticas humanas monogênicas como um dos tipos de herança humana, e não como regra geral. Tais autores também mencionam a importância de deixar claro que as características podem ser determinadas tanto por fatores genéticos como ambientais, evitando o determinismo genético.

Considerações finais

Conclui-se que tanto nos diferentes grupos de entrevistados como na literatura há alguns conteúdos que são preponderantemente defendidos como básicos, sendo eles principalmente *Padrões de herança (Leis de Mendel)*, *Divisão celular*, *Genética Molecular (DNA, Expressão gênica)*, *Aplicações da Genética (Biotecnologia)* e *Gene*.

Entretanto, se espera-se que os alunos compreendam como expressam suas características, uma visão moderna de hereditariedade é essencial, como autores também defendem na literatura.

Portanto, esta pesquisa também defende a formação de um cidadão que possa se posicionar criticamente diante de conhecimentos relacionados à herança. Para isso, concorda-se que o conhecimento da Genética complexa é essencial, já que a maioria das características dos indivíduos não são produtos da simples expressão de um par de genes, e portanto não são apenas explicadas pela herança mendeliana.

Pretende-se aqui questionar se a Genética priorizada e ensinada nas escolas realmente explica o mundo fora dela. Para que fazer tantos problemas, calcular tantas porcentagens e probabilidades, se o indivíduo não compreender que aquele gene herdado pode ou não se expressar? O que isso significa em sua vida cotidiana?

Referências

AYUSO, G. E.; BANET, E. Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 1, p. 133-157, 2002.

BIZZO, N. Eugenia: Quando a Biologia faz falta ao cidadão. **Cadernos de Pesquisa**. n. 92, p. 38-52, 1995.

_____. O Paradoxo social-eugênico e os professores: ontem e hoje. In: CHASSOT, A.; OLIVEIRA, J. R. (orgs). **Ciência, ética e cultura na educação**. São Leopoldo: UNISINOS, 1998. p. 165-189.

BIZZO, N.; EL-HANI, C. N. O Arranjo Curricular do Ensino de Evolução e as Relações entre os Trabalhos de Charles Darwin e Gregor Mendel. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 235-257, 2009.

BONZANINI, T.K.; BASTOS F. Concepções de alunos do ensino médio sobre clonagem, organismos transgênicos e Projeto Genoma Humano. In: V ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2005, Bauru. **Atas...** Bauru: Associação Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2005.

BRIDGFORTH, B. D. **An investigation into the teaching of and curriculum development for inheritance and genetic diseases on the secondary school level**. 171p. PhD Dissertation. University of Massachusetts, 1993.

CAMARGO, S. S.; INFANTE-MALACHIAS, M. E. A genética humana no Ensino Médio: algumas propostas. **Genética na Escola**, v. 2, n. 1, p. 14-16, 2007.

DAWSON, V.; SOAMES, C. The effect of biotechnology education on Australian high school students' understandings and attitudes about biotechnology processes. **Research in Science & Technological Education**, v. 24, n. 2, p. 183–198, 2006.

DOUGHERTY, M.J. Closing the gap: Inverting the genetics curriculum to ensure an informed public. **The American Journal of Human Genetics**, v. 85, n. 1, p. 6-12, 2009.

_____. Teaching the genetics of complex traits. In: IOSTE SYMPOSIUM, 14., 2010, Bled, Slovenia. **Proceedings...** International Organisation for Science and Technology Education, 2010.

FLODIN, V. The Necessity of Making Visible Concepts with Multiple Meanings in Science Education: The Use of the Gene Concept in a Biology Textbook. **Science & Education**, v. 18, n. 1, p. 73-94, 2009.

MARTÍNEZ-GRACIA, M. V.; GIL-QUÍLEZ, M. J.; OSADA, J. Genetic engineering: a matter that requires further refinement in Spanish secondary school textbooks. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 9, p. 1147-1168, 2005.

NASCIMENTO, T. G. O discurso da divulgação científica no livro didático de ciências: características, adaptações e funções de um texto sobre clonagem. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 5, n. 2, p. 15-28, 2005.

PATTON, M. Q. **Qualitative evaluation and research methods**. Newbury Park, Calif.: Sage Publications, 1990. 532 p.

PEDRANCINI, V. D.; CORAZZA-NUNES, M. J.; GALUCH, M. T. B.; MOREIRA, A. L. O. R.; RIBEIRO, A. C. Ensino e aprendizagem de Biologia no Ensino Médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 2, p. 299-306, 2007.

PEDRANCINI, V. D.; CORAZZA-NUNES, M. J.; GALUCH, M. T. B.; MOREIRA, A. L. O. R.; NUNES, W. M. C. Saber científico e conhecimento espontâneo: opiniões de alunos do Ensino Médio sobre transgênicos. **Ciência e Educação**, v. 14, n. 1, p. 135-146, 2008.

SHAPIRO, James A. Mobile DNA and evolution in the 21st century. **Mobile DNA**, v. 1 n. 4, 2010.

SMITH, M. U. Teaching cell division: student difficulties and teaching recommendation. **Journal of the College Science Teaching**, v. 21, n. 1, p. 28-33, 1991.

USAK, M.; ERDOGAN, M., PROKOP, P., OZEL, M. High school and university students' knowledge and attitudes regarding biotechnology: A Turkish experience. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 37, n. 2, p. 123-130, 2009.

XAVIER, M. C. F.; FREIRE, A. S.; MORAES, M. O. A Nova (moderna) Biologia e a Genética nos livros didáticos de Biologia no Ensino Médio. **Ciência e Educação**, v. 12, n. 3, p. 275-289, 2006.