

A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM GENÉTICA MENDELIANA

SOLVING PROBLEMS IN MENDEL'S GENETICS

Lucio Ely R. Silvério/UFSC/CED/CAP., lsilverio@ca.ufsc.br
Sylvia Regina P. Maestrelli/UFSC/CCB/BEG, Sylvia@ccb.ufsc.br

RESUMO

Nesta pesquisa se investigou aspectos da relação entre resolução de problemas e aplicação de conceitos em genética mendeliana por alunos do Ensino Médio. O estudo foi realizado através de questionário e entrevista semi-estruturada em uma escola pública. As estratégias de resolução, a aplicação de conceitos envolvendo meiose, formação de gametas, localização de alelos e dificuldades na resolução de diferentes problemas de genética foram identificados e analisados. Os resultados indicam o uso de algoritmos como a principal estratégia de resolução dos problemas, muitas vezes sem a compreensão sobre o contexto e o motivo para usá-los e que os alunos aplicam determinados conceitos mais por força da memorização de suas definições do que pela compreensão de seu significado. Alternativas pedagógicas são propostas para maior interação entre a metodologia empregada na atividade e a proposta de problemas que associem domínio conceitual e procedimental, a partir dos conhecimentos prévios que o aluno já possui.

Palavras-chave: Resolução de problemas. Conceitos básicos em genética. Tipos de problemas em genética.

ABSTRACT

In this work, we investigated aspects of the relationship between solving school problems and the application of concepts in Mendel's genetics by high school students. The study was developed through a questionnaire and a semi-structured interview with students of a public school. The solution strategies, the application of concepts involving meiosis, formation of gametes, localization of alleles, and the difficulties involved in solving different problems in genetics were identified and analyzed. The results indicated the use of algorithms as the main strategy for solving problems, usually without the appropriate comprehension of the context and the reason for using them. The results also indicated that the students use certain basic concepts by memorizing the definitions rather than understanding their meanings. Therefore, we propose some pedagogical alternatives in order to facilitate a greater interaction between the methodology used in the activity and the proposal of problems which are associated to a full knowledge of concepts and procedures, considering the student's previous knowledge.

Keywords: Solving problems. Basic concepts in genetics. Types of problem in genetics.

INTRODUÇÃO

No cotidiano das aulas de genética do Ensino Médio a resolução de problemas (RP) é uma das estratégias de ensino mais utilizadas. Segundo um estudo conduzido por Bugallo Rodríguez (1995), os maiores esforços de investigação em didática da genética, durante a última década, tem se concentrado no estudo das relações entre o conhecimento conceitual e as estratégias de RP. Desta forma, é preciso entender como esta atividade se organiza localmente, estudando os modelos empregados pelos alunos e as dificuldades para resolver estes problemas.

Ayuso et al. (1996), consideram necessário aprofundar o estudo sobre a RP em genética. Estes autores crêem ser possível um salto qualitativo nos tipos de problemas que são propostos aos estudantes em classe, para que possam ser capazes de resolvê-los compreendendo os conceitos aplicados, aprendendo simultaneamente a solucionar outras situações problemáticas cotidianas e a desenvolver idéias mais adequadas sobre a ciência.

De forma geral, nossa pesquisa investigou aspectos da relação entre RP de lápis e papel e aplicação de conceitos em genética mendeliana por alunos do Ensino Médio. As perguntas que impulsionaram a investigação foram as seguintes: **quais as estratégias que os alunos do Ensino Médio utilizam na resolução de problemas em genética mendeliana e como elas se relacionam com os conceitos básicos nesta área? Quais as dificuldades que enfrentam neste processo?**

Desta forma, pretendeu-se identificar os passos dados pelos estudantes para resolver problemas próprios da genética, estudar sua relação com os conhecimentos conceituais construídos por eles e usados para justificar a resolução de problemas, de modo a poder indicar alternativas pedagógicas para superar as dificuldades localizadas neste processo.

Em nossa prática pedagógica, percebemos que o uso de fórmulas, equações matemáticas e esquemas - como o quadro de Punnett - permite que o aluno resolva questões básicas de genética sem ter pleno domínio dos conceitos envolvidos. Marrero e Maestrelli (2001) destacam ser comum alunos do Ensino Médio, especialmente vestibulandos, apresentarem maior interesse em memorizar grande quantidade de conceitos do que em compreender seus significados, imaginando terem maior chance de aprovação no vestibular. Isto transforma o processo de aprendizagem em uma tarefa desestimulante e pouco criativa.

Percebemos também que, em função da organização curricular de muitas escolas, não é raro ensinar genética como conteúdo isolado de outras áreas da biologia. Sem estabelecer conexões com assuntos ensinados em séries anteriores, o professor se limita a descrever determinados padrões de herança, desconsiderando as concepções alternativas dos alunos e os pré-requisitos para aprendizagem de novos conceitos nesta área.

Na genética, a RP se constitui numa estratégia pedagógica importante para transpor conceitos e definições teóricas em situações de aprendizagem concreta. É importante, então, pensar numa didática que valorize o esforço do aluno e, a partir de suas concepções alternativas, encontre maneiras de contornar os obstáculos pedagógicos que se interpõem à aquisição do conhecimento em genética e auxilie no desenvolvimento cognitivo dos jovens.

OS PROBLEMAS EM GENÉTICA E SUAS DIFICULDADES: $AaBb \times AaBb$...

Em suas reflexões, Pozo (1998) argumenta que quando o professor propõe um problema em sala de aula, parece ter clareza que ele é relevante e significativo para o conteúdo que leciona. Em nossa prática em sala de aula, observamos que boa parte dos alunos não compreende a atividade desta forma, pois sequer entendem o enunciado do problema; para outros, a mesma situação proposta no problema se mostra muito simples e não estimula sua resolução. Desta

forma, dependendo da concepção que se tem acerca do significado de um problema e do tipo de problema que deve ser proposto no ensino, teremos determinada reação da parte dos alunos.

Genericamente, é preciso ter em mente que a RP está vinculada a muitos fatores que interferem diretamente no seu sucesso. Costa e Moreira (1997), numa extensa revisão bibliográfica sobre a RP em ciências, destacam alguns dos fatores que influenciam esta atividade em sala de aula e que estão associados ao comportamento do aluno frente a ela. Dentre eles, lembramos dois:

- *dificuldades em interpretar o problema*, envolvendo o conhecimento semântico e específico do enunciado;
- *dificuldades em utilizar conceitos e articular instrumentos de resolução*, relacionados com um ensino dissociado da prática de promover o conhecimento conceitual junto com o procedimental;

Em nossa compreensão, as dificuldades para resolver determinados problemas de genética se mostram também relacionadas a algum destes fatores, com preponderância em um deles ou na interação de diferentes níveis entre eles.

De sua parte, Pozo (1998) ressalta ainda que procedimentos, sejam habilidades ou estratégias, se aplicam a conteúdos conceituais que, se não forem compreendidos pelos alunos, impossibilitam que estes reconheçam na tarefa um problema, tornando a atividade um mero exercício de aplicação de rotinas aprendidas por repetição e automatizadas.

Desta forma, para compreender melhor a atividade de RP em sala de aula, é preciso refletir sobre a diferença entre o que se propõe como sendo um "problema" e aquilo que se executa como um "exercício". Do ponto de vista das estratégias de ensino, esta diferenciação faz sentido, tendo em vista os objetivos que se pretende alcançar com a atividade. Um fator complicador é que, muitas vezes, a definição dos termos se confunde com a própria atividade de resolver o problema ou o exercício, com fronteiras não muito nítidas entre eles.

Existem diversas formas e diferentes autores para definir o termo *problema* ou a atividade de resolver problemas. Lester (1983, apud Pozo, 1998, p. 15) define um problema como "uma situação que um indivíduo ou um grupo quer ou precisa resolver e para a qual não dispõe de um caminho rápido e direto que o leve à solução". Sigüenza Molina e Sáez (1990, p. 225, tradução nossa) preferem trabalhar com uma definição de problema bem mais específica:

O problema [...] pode ser definido como uma situação, cuja solução requer que o sujeito analise fatos e desenvolva, logicamente, uma estratégia que lhe permita obter dados (numéricos ou não), processar estes dados (relacioná-los entre si e com os fatos), interpretá-los e chegar a uma conclusão (resposta).

Diferentemente de um exercício, um problema seria uma situação para a qual não dispomos de procedimentos automáticos que permitam solucioná-la de forma imediata. Um exercício, em comparação a um problema, poderia ser entendido como afirma Pozo (1998, p. 16): "um problema se diferencia de um exercício na medida em que, neste último caso, dispomos e utilizamos mecanismos que nos levam, de forma imediata, à solução".

Na prática, uma determinada situação pode representar um problema para um aluno e não passar de um exercício para outro que consegue resolvê-la sem muito esforço cognitivo, através da aplicação de rotinas automatizadas. Este aspecto está ligado à forma como o aluno percebe sua funcionalidade dentro da aprendizagem, à maneira como o professor apresenta a situação, orienta sua solução e a avalia. Por isso, consideramos que deva existir uma continuidade pedagógica entre situações que o professor propõe como exercícios e aquelas consideradas como problemas, mesmo que a fronteira entre elas nem sempre seja nítida. Exercícios são fundamentais para iniciar o estudo em determinados temas e para aplicação de algoritmos

importantes, mas eles precisam ser gradualmente transformados em problemas verdadeiros, buscando o maior desenvolvimento cognitivo dos alunos.

Embora pareça haver concordância na literatura quanto à importância da RP para o ensino e aprendizagem em genética, o que se percebe nas aulas é que os alunos cometem muitos erros ao executarem este tipo de tarefa que, em geral, ainda é usada como forma de avaliar seu conhecimento. Uma das causas do aluno não conseguir resolver determinado problema proposto em genética reside no fato de não compreender os conceitos que estão envolvidos em sua resolução. A falta de significado ou uma interpretação errônea desses conceitos, pode impedir que ele perceba o problema conforme foi proposto pelo professor.

A origem desta situação pode encontrar explicações nas concepções espontâneas do aluno sobre este assunto. Admite-se hoje, que a aquisição significativa de novos conhecimentos exige estabelecer vínculos entre as novas informações recebidas e aquelas que o aluno já possui. Nesta perspectiva, devemos considerar que ele aprende quando constrói conhecimentos e estabelece relações entre diversos conceitos. A falta de conexões entre as informações que o aluno detém e àquelas exigidas na resolução de um problema, pode impedir que ele entenda e solucione a situação proposta.

Banet e Ayuso (1995) citando estudos de diversos autores, comentam que o aprendizado dos alunos sobre herança biológica é menos significativo do que se poderia esperar. Desta forma, exemplificam eles, os alunos atribuem significados errôneos a conceitos básicos como cromossomos, genes, alelos ou mutações; não compreendem o significado de processos como a meiose, nem o papel do acaso na transmissão das características hereditárias; e situam os dois alelos para determinado caráter no mesmo cromossomo.

Stewart e Dale (1989) investigaram qual a compreensão dos alunos sobre a relação entre cromossomos e genes, expressa através de seu modelo conceitual e sua habilidade para explicar, neste modelo, a solução de problemas com cruzamentos envolvendo duas características distintas. Nesta situação, os alunos revelaram inúmeras concepções alternativas sobre a meiose e demonstraram aplicar conceitos genéticos para solucionar os problemas, com diferentes graus de acerto. Obter a resposta correta para problemas de genética é, muitas vezes, resultado da aplicação direta de algoritmos. Por isso, lembram os autores, não se pode julgar o conhecimento somente através do êxito na solução, é preciso reconhecer quando os alunos "pensam geneticamente", o que pode ser verificado pela sua habilidade em explicar os passos que deram para aplicar este ou aquele algoritmo.

Os problemas propostos em genética não são iguais entre si e apresentam níveis de dificuldade distintos para o aluno. Por isso, podem contribuir de forma diferente na sua aprendizagem. Stewart (1988) argumenta que diferentes tipos de problemas em genética potencializam e promovem diferentes tipos de aprendizagem. Desta forma, os problemas devem ser classificados a partir do tipo de raciocínio envolvido na obtenção da solução. Ele propõe que, em genética, existem problemas que envolvem o raciocínio tipo "*causa-efeito*", onde se parte do genótipo para se encontrar o fenótipo dos descendentes, enquanto outros envolvem o raciocínio "*efeito-causa*", partindo do fenótipo para se chegar ao genótipo dos descendentes ou ao tipo de herança envolvida.

Sigüenza Molina (2000), consideram que as dificuldades relacionadas com o enfoque dos problemas e as estratégias de resolução são muito difíceis de explicar. Segundo este autor, as investigações didáticas deste aspecto parecem aglutinadas dentro de uma espécie de *caixa preta*, pois cada tipo de problema pode trazer consigo um objetivo nem sempre explícito e que interfere na forma de resolvê-lo. Desta maneira, argumenta ele, as dificuldades não estariam localizadas tanto no modelo mental que o aluno constrói sobre o problema ou se o problema tem ou não significado para o aluno, mas nas restrições que derivam do tipo de problema escolhido e do enunciado que ele apresenta.

Com intuito de procurar entender aspectos relacionados à aplicação de conceitos e RP em genética, propusemos a um grupo de alunos que solucionassem determinados problemas e que, na medida do possível, explicassem os passos que deram e as dificuldades que encontraram para executar esta tarefa. A partir destes dados, propomos algumas alternativas pedagógicas que favoreçam o desenvolvimento da metodologia empregada nesta atividade, através da proposta de problemas que associem domínio conceitual e procedimental, levando em conta os conhecimentos prévios que o aluno já possui.

PROBLEMAS EM GENÉTICA: COMO RESOLVEM OS ALUNOS...

A população onde se desenvolveu esta pesquisa foi composta de 71 alunos da 3^a. Série do Ensino Médio de uma escola pública de Florianópolis-SC, Brasil. A coleta de dados foi realizada com a aplicação de um questionário e entrevista semi-estruturada. Para este fim, os alunos foram identificados através de números de 01 até 71, independente da turma a que pertenciam.

Em linhas gerais, o questionário foi composto por sete questões de genética, sendo cinco dissertativas e duas de múltipla escolha. Em todas as questões foi pedido que o aluno justifique sua resposta. Este instrumento procurou identificar como o aluno aplica os conceitos fundamentais em genética na resolução de problemas que envolvem formação de gametas, determinação de genótipos, separação e localização de alelos nos cromossomos; e ainda, se o aluno usa o quadro de Punnett e a simbologia genética de forma significativa na resolução dos problemas que envolvem esta situação.

As questões foram genericamente organizadas em dois grupos, que se complementam em suas exigências. O primeiro grupo está mais relacionado ao domínio conceitual de certos termos da genética e de estratégias, como o quadro de Punnett, na resolução de problemas envolvendo formação de gametas e determinação de genótipos em um cruzamento hipotético; e ainda, como articula a segregação independente dos alelos e formação dos gametas.

O segundo grupo, foi elaborado para identificar as estratégias de resolução de problemas e domínio conceitual em questões de genética mendeliana mais complexas. Nesta parte o aluno tinha de resolver problemas que envolviam dois alelos distintos e articular conceitos genéticos ligados a este tipo de problema; representar, através de desenhos, cromossomos e alelos; e descrever os tipos de gametas formados em uma dada situação.

Em cada questão pediu-se ao aluno que justificasse sua resposta. Na prática isto tinha dois objetivos: um deles era permitir que ele, avançando na solução dos problemas, tivesse a oportunidade de raciocinar sobre a estratégia que adotou para resolver cada questão e os conceitos que usou; o outro era facilitar a compreensão dos pesquisadores sobre os motivos que o levaram a escolher determinado caminho de resolução e como aplicou os conceitos na questão. Isto permitiu usar o questionário como instrumento de apoio para estruturar melhor a entrevista e, através dela, compreender aspectos que não poderiam ser alcançados somente pela aplicação deste instrumento.

O critério de escolha dos alunos para a entrevista foi o tipo de resposta dada aos problemas do questionário. Para qualificar esta escolha, as respostas foram classificadas a partir da sobreposição de acertos e erros entre os diferentes problemas e seus objetivos. A partir da análise dos dados do questionário foi possível identificar quais os alunos que, por exemplo, responderam corretamente todas ou quase todas as questões; quais os que acertaram o primeiro grupo de questões e erraram o segundo; qual a incidência de acertos e de erros em cada uma das questões; quais as possíveis estratégias que adotaram para resolver as questões de um grupo e de outro.

Interagindo com os alunos durante a entrevista, procuramos trazer à tona o tipo de estratégia que estava por traz das respostas ao questionário, uma vez que o aluno explicaria os

passos que deu para resolver determinado problema; e ainda, observar se houve indícios de resolução mecânica e insuficiência conceitual nesta atividade, através da forma como ele justifica os termos ou das expressões que usou para responder determinada questão. Algumas das perguntas dirigidas aos entrevistados foram: você poderia explicar sua justificativa para esta questão? (mostramos a resposta); explique o seu desenho (mostramos o desenho); como chegou a essa conclusão?; você vê diferença entre o desenho desta questão e o da questão anterior? (mostramos os dois desenhos). Em geral, as perguntas feitas durante a entrevista eram dirigidas a determinadas questões, que foram escolhidas a partir da análise das informações dadas pelo aluno no questionário.

As respostas a cada uma das questões foram organizadas em grupos (A, A₁, B, C...) e apresentadas sob a forma de gráficos, para facilitar a visualização e análise das mesmas. Após a apresentação das respostas ao questionário, seguiu-se a transcrição de trechos de algumas entrevistas que permitiram complementar a análise definitiva dos dados.

Em função do limite de espaço, apresentamos apenas as respostas a duas questões propostas. Embora as conclusões que obtivemos na pesquisa sejam resultado do diálogo entre os instrumentos de coleta de dados (questionário e entrevista) e a literatura especializada na área, temos convicção de que a apresentação destas questões pode fundamentar a análise proposta inicialmente e seja suficiente para apoiar nossas conclusões, quanto à situação estudada.

A questão apresentada na seqüência tem como objetivo identificar as estratégias para resolução de um problema envolvendo a produção de gametas em dois indivíduos distintos e a determinação dos possíveis genótipos de seus descendentes.

Analise a seguinte situação e responda:

*"Uma mulher é **AA** em relação a um determinado locus gênico e **bb** em relação a outro. Seu marido é **aa** em relação ao primeiro locus e **BB** em relação ao segundo". Em relação a esses loci gênicos:*

a) Que tipos de gametas a mulher pode formar? Mostre como chegou a sua conclusão.

Respostas: A - "Ab": resposta direta ou através da combinação de alelos (correta).
A₁ - "Ab": através do uso do quadro de Punnett (resultado final correto).
B - Outras respostas com diferentes gametas (incorreta).

Erro! Vínculo não válido.

Gráfico 1: Distribuição das respostas por número de alunos.

b) E o marido, que tipos de gametas pode formar? Mostre como chegou a sua conclusão.

Respostas: A - "aB": resposta direta ou através da combinação de alelos (correta).
A₁ - "aB": através do uso do quadro de Punnett (resultado final correto).
B - Outras respostas com diferentes gametas (incorreta).

Erro! Vínculo não válido.

Gráfico 2: Distribuição das respostas por número de alunos.

c) Como poderão ser os genótipos de seus descendentes? Mostre como chegou a sua conclusão.

Respostas: A - "AaBb": resposta direta ou via combinação de alelos (correta).
A₁ - "AaBb": através do uso do quadro de Punnett (correta).
B - Outras respostas com diferentes genótipos (incorreta).

Erro! Vínculo não válido.

Gráfico 3: Distribuição das respostas por número de alunos.

Nesta questão os alunos deveriam formar os gametas de indivíduos com genótipo '**AAbb**' e '**aaBB**'. A maioria resolveu mentalmente a questão e respondeu diretamente o que se pedia ou usou a combinação de alelos para isto. Nesta questão e na seguinte (letra b) aparece a estratégia de usar o quadro de Punnett para encontrar os gametas. Na justificativa do questionário que segue é possível perceber como o aluno usa o quadro de Punnett com esta finalidade e o faz de forma incorreta:

?

Isomente Ab / Resposta pelo quadro de punnet

	b	B
A	Ab	AB
A	Ab	AB

Procurando entender por que usaram este recurso na resposta e como aprenderam a fazê-lo, indagamos a um dos alunos se ele foi usado em aula para resolver questões deste tipo. A resposta está transcrita a seguir.

Entrevistador (E): aqui (na letra 'a' e 'b') para responder você preferiu montar um quadro de Punnett para responder a questão. O professor mostrou em aula que podia ser usado o quadro para fazer isso?

Aluno: podia. Com o tempo, como a gente ia fazendo muito e já consegue fazer de cabeça, assim!

(E): você fez mais para confirmar?

Aluno: isso!

Também na letra c, muitos alunos indicaram a resposta de forma direta, sem especificar a estratégia de resolução ou usaram a combinação de alelos para isso. Um aspecto que merece destaque é o número de alunos com respostas incorretas (grupo B). Embora tenham encontrado os gametas materno e paterno corretos, chegaram a genótipos incorretos no resultado final. O que nos fez pensar em duas possíveis razões que justifiquem o ocorrido:

a) alunos que usam incorretamente o quadro de Punnett, como por exemplo, para encontrar gametas, enfrentam maiores dificuldades em aplicá-lo de maneira correta em situações onde deveriam fazê-lo. No caso do aluno abaixo, sua resposta à questão deixa claro esta dificuldade em usar o quadro em uma situação como esta.

$Ab \times aB$		<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;">a</td> <td style="border: none;">B</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">A</td> <td style="padding: 2px;">Aa</td> <td style="padding: 2px;">AB</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">b</td> <td style="padding: 2px;">ab</td> <td style="padding: 2px;">bB</td> </tr> </table>		a	B	A	Aa	AB	b	ab	bB	<p>não me lembro mais como se faz ...</p>
	a	B										
A	Aa	AB										
b	ab	bB										

b) É possível que o motivo também possa estar vinculado ao fato deles resolverem mentalmente a questão, elaborando o resultado de forma direta. Ou ainda, resolverem a questão de forma displicente por considerá-la muito fácil, sem verificar se a conclusão era compatível com os dados que possuíam. Na resposta a seguir, o aluno mostra dificuldades em formalizar sua resolução:

$Ab \times aB$		<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;">a</td> <td style="border: none;">B</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">A</td> <td style="padding: 2px;">Aa</td> <td style="padding: 2px;">AB</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">b</td> <td style="padding: 2px;">ab</td> <td style="padding: 2px;">bB</td> </tr> </table>		a	B	A	Aa	AB	b	ab	bB	<p>descendentes tem que ter um alelo de mãe e outro do pai</p>
	a	B										
A	Aa	AB										
b	ab	bB										

Entrevistador (E): Como você chegou neste tipo de resposta, com estes genótipos?

Aluno: Como o cruzamento era simples, eu fiz direto. É quase automático esse tipo de cruzamento...é só juntar os gametas do pai e da mãe.

Na questão seguinte, propomos aos alunos um problema do tipo "efeito-causa" adaptado de Stewart e Dale (1989). Através dele, procuramos identificar as estratégias de resolução quando o aluno trabalha com duas características genéticas distintas, aplica conceitos básicos da genética e representa estruturas como cromossomos e genes alelos. Buscamos observar como organizam estes conceitos através de desenhos, pedindo que representassem os cromossomos e localizassem neles os alelos envolvidos na situação proposta.

Analise a seguinte situação e responda:

"Em besouros, asas com manchas são dominantes sobre asas sem manchas; e antenas longas são dominantes sobre antenas curtas".

a) *Quais os possíveis genótipos e fenótipos dos descendentes de um cruzamento entre um besouro que é heterozigoto para ambas as características com outro besouro sem manchas nas asas e antenas curtas? Mostre como chegou a sua conclusão.*

Respostas:

A – "MmCc, Mmcc, mmCc, mmcc. Asas com manchas, antenas longas ou curtas; asas sem manchas e antenas longas ou curtas": resposta direta ou por combinação de alelos (correta).

A₁ – "MmCc, Mmcc, mmCc, mmcc. Asas com manchas, antenas longas ou curtas; asas sem manchas e antenas longas ou curtas": através do quadro de Punnett (correta).

B – Outras respostas com diferentes genótipos ou fenótipos (incorreta).

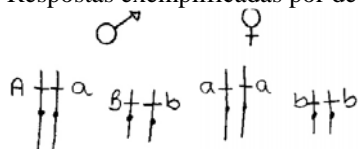
C - Não responderam.

Erro! Vínculo não válido.

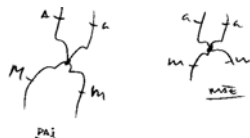
Gráfico 4: Distribuição das respostas por número de alunos.

b) *Represente através de desenhos, os cromossomos dos pais (do macho e da fêmea) e localize neles os genes para as características citadas.*

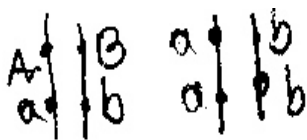
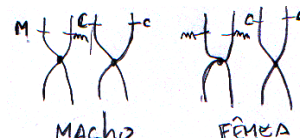
Respostas exemplificadas por desenhos dos alunos:



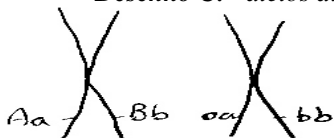
Desenho A: correto.



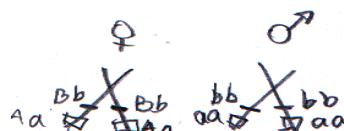
Desenho B: alelos diferentes localizados em cromátides irmãs.



Desenho C: alelos distintos no mesmo locus em cromossomos homólogos.



Outros desenhos: alelos localizados incorretamente



Erro! Vínculo não válido.

Gráfico 5: Distribuição das respostas por número de alunos.

Em termos gerais, 86% dos alunos respondeu incorretamente esta segunda parte da questão, sendo este o maior percentual de erros em todo o questionário. Na busca de entender a origem destes erros comuns, chamou nossa atenção o pouco domínio conceitual dos alunos, expresso nas dificuldades em construir modelos de cromossomos corretos. Nos desenhos, os alunos localizam alelos diferentes em cromátides irmãs e não em cromossomos homólogos; uma cromátide com informação e a outra não; alelos de um mesmo par na mesma cromátide. Isto coloca em evidência o domínio conceitual equivocados destes alunos, mostrando que aplicam conceitos de genética de forma pouco significativa.

Os desenhos que caracterizam o grupo B foram os mais comuns entre todos, correspondendo a 56% do total de respostas. Notamos ao entrevistar vários alunos deste grupo a grande dificuldade em diferenciar cromátides de cromossomos homólogos, em lidar com o conceito de alelo e localizá-los em seu devido locus gênico. Para entender melhor este modelo de cromossomo, pedimos aos alunos que descrevessem seus desenhos. Um deles, cujo desenho e entrevista aparecem na seqüência, mostra não ter noção clara sobre o que sejam as cromátides e sobre a forma do cromossomo duplicado e localiza os alelos incorretamente nas cromátides irmãs.



Entrevistador (E): você podia explicar um pouco o teu desenho?

Aluno: essa é a representação do cromossomo.

(E): o cromossomo tem sempre esse jeito de um 'X'?

Aluno: é, sim... isto é um cromossomo e isso são as cromátides...(indicando corretamente no desenho)

(E): você falou nas cromátides, o que são elas?

Aluno: o cromossomo é formado pelas cromátides.... ligados pelo... 'centrômero'.

Os desenhos dos outros grupos indicam uma distância maior em relação à compreensão correta dos modelos de cromossomos e a localização dos alelos.

Na seqüência apresentamos um gráfico que resume o desempenho comparativo dos alunos no questionário. As quatro primeiras questões compõem o primeiro grupo e, a partir da quinta questão, o aluno resolve questões com nível de dificuldade maior, compondo o segundo grupo:

Erro! Vínculo não válido.

Gráfico 6: Resultado numérico das respostas ao questionário.

ANALISANDO E CONSIDERANDO AS RESPOSTAS ENCONTRADAS...

Na primeira questão proposta, são dados ao aluno os genótipos de duas pessoas diferentes e pedido que se determine os tipos de gametas formados e os possíveis genótipos dos descendentes. A solução envolve o raciocínio "causa-efeito" e, segundo a literatura, favorece a aplicação de algoritmos como a combinação de alelos e o quadro de Punnett. Talvez por isso, o percentual de acerto dos itens (a) e (b) tenha ficado próximo aos 90%. No item (c) também é possível perceber como o aluno prefere aplicar alguma dessas regras algorítmicas para responder a questão (respostas tipo A_1).

Na análise dessa questão, chamou a atenção à "lógica funcionalista" que o aluno associa ao uso do quadro de Punnett. A maioria deles utilizou corretamente o quadro como um recurso para resolver problemas; mas entre estes, muitos não reconheceram ou explicaram corretamente o significado de seus elementos ou adaptaram seu uso a uma atividade para a qual ele não foi pensado, como para encontrar os gametas em um cruzamento hipotético. Isto se confirmou nas respostas as quatro primeiras questões propostas no questionário da pesquisa e pelo que indicou o raciocínio dos alunos que foram entrevistados.

Questões como essas podem demonstrar como a orientação algorítmica exerce sua força na RP em genética. Em questões onde o aluno deveria indicar os gametas, a solução poderia ser obtida por aplicação direta de um algoritmo, como a combinação de alelos. Porém, quando deveriam determinar os genótipos dos descendentes (item *c*), este percentual de acertos caiu para 65%. Nesta situação, o emprego direto de um algoritmo precisa ser antecedido da interpretação do enunciado da situação e da determinação do genótipo dos pais, para então usar o quadro de Punnett. Acreditamos que alguns alunos fizeram toda esta operação mentalmente ou de forma muito displicente, sem conferir se o resultado alcançado era compatível com os dados que possuíam.

Dessa forma, parte da explicação para estas dificuldades pode ser creditada à estratégia de resolução adotada por estes alunos e parte pode ser reflexo da aplicação de conceitos abstratos e de difícil compreensão como alelo, gameta e genótipo, ou do uso inadequado da simbologia empregada nestes cruzamentos. Neste sentido, é razoável considerar a possibilidade que grande parte dos alunos utilizou as letras para representar os genes, sem contudo entender seu significado correto na formação de gametas ou no cruzamento realizado para determinar o fenótipo e o genótipo dos descendentes.

Na questão seguinte aqui apresentada, foi proposto ao aluno a resolução de um problema classificado como "efeito-causa", em função do tipo de raciocínio que envolve sua solução. Através dele, procurou-se verificar como o aluno aplica seu conhecimento de genética frente a problemas deste tipo. Além disso, a intenção era observar como ele transfere este raciocínio para uma atividade na qual tem de expressar conceitos como o de cromossomos homólogos e genes alelos, através de desenhos.

Nos resultados da questão, observou-se a diferença entre os acertos da primeira e da segunda parte da questão. A tarefa proposta inicialmente, envolve conhecimentos do aluno para coletar, analisar e organizar os dados do problema na construção da solução. A segunda parte, exige o desenho de estruturas que o aluno emprega no cotidiano das aulas de genética (cromossomos e alelos), freqüentemente usadas pelo professor ao explicar o conteúdo ou que são comuns nos livros didáticos. Quando comparados os dois tipos de atividades, esperávamos que houvesse maior dificuldade em resolver a primeira que a segunda parte. No entanto, 55 alunos (75%) acertam a primeira e apenas 10 deles acertam a segunda parte (14%). Levando em conta que todos estes 10 alunos acertaram também a primeira parte, restaram 45 alunos (63%) que acertam a primeira parte da questão e erram a segunda. Isto nos leva a crer que eles são capazes de acertar questões mais complexas sem compreender os conceitos envolvidos, caso sejam treinados para isso.

De forma genérica, notamos que na maioria dos desenhos feitos pelos alunos, os cromossomos são representados na sua forma duplicada e que existem dificuldades em diferenciar cromátides irmãs de cromossomos homólogos. Muitos dos erros encontrados estão associados à construção de modelos de cromossomos confusos e incorretos. Assim, no tipo de desenho mais comum os alunos localizaram alelos diferentes em cromátides irmãs e não em cromossomos homólogos; em outros desenhos aparece uma cromátide com informação e a outra sem; alelos de um mesmo par localizados na mesma cromátide. Situações semelhantes a estas são retratadas na literatura através dos trabalhos de Ayuso e Banet (2002).

Concluimos que as análises destes resultados apontam inúmeras dificuldades na aplicação de conceitos de genética mendeliana na RP, envolvendo processos de meiose, modelos de cromossomo, mecanismo de segregação independente ou não dos cromossomos e diferenciação entre estruturas como cromátides irmãs e cromossomos homólogos. Muitos alunos retêm na memória determinados conceitos de genética e passam a usá-los sem compreender seu verdadeiro significado, auxiliados diretamente pela aplicação de algoritmos na resolução de problemas. Todavia, não conseguem transferi-los para situações nas quais tais conceitos são exigidos em uma determinada tarefa.

Se acrescentarmos a estas características as dificuldades na interpretação do enunciado das questões, o resultado pode ser uma prática de RP em genética onde os conhecimentos conceituais se distanciam dos conhecimentos procedimentais. Assim, a resolução de problemas em lugar de facilitar a construção dos conhecimentos sobre a herança biológica, pode acentuar uma tendência à memorização de conceitos e aplicação de algoritmos, limitando bastante a possibilidade do aluno aprender a partir dela.

Existem alternativas pedagógicas viáveis e que favoreceriam a superação das dificuldades pedagógicas observadas. Elas apontam genericamente para a aproximação entre o currículo de biologia adotado na maioria das escolas públicas e os conteúdos que são pré-requisitos no estudo de genética, como mitose e meiose, síntese de proteínas, cromossomos, genes e DNA. Em geral, estes tópicos são apresentados na primeira série do Ensino Médio, enquanto que a RP em genética é assunto da terceira série.

Indicam também a necessidade de mudanças na atuação do professor, que precisa saber substituir gradativamente exercícios rotineiros por pequenos problemas de pesquisa, problemas tipo "causa-efeito" por "efeito-causa", discutir com os alunos os objetivos de cada problema e acompanhar os passos que estes dão até a solução final.

Mudanças de caráter metodológico podem favorecer estas alternativas, através da realização de atividades lúdicas e trabalhos com modelagem feitos em grupo, onde cada aluno explica sua tarefa para os demais. Contextualizar e discutir como determinados conceitos foram sendo historicamente construídos ao longo do tempo e como estão inseridos na forma de pensar da comunidade científica, pode ajudar o aluno a estabelecer relações mais concretas e seguras sobre sua definição e levá-lo a criar vínculos com as informações que já detém sobre conhecimentos correlatos.

A avaliação da atividade não deve ser um episódio conclusivo no processo, pois precisa ser realizada em paralelo a execução das tarefas. Ao avaliar, o professor deve estar atento as diferenças psico-pedagógicas de suas turmas que podem ser úteis no gerenciamento das dificuldades aqui destacadas. Por isso, é interessante avaliar mais o processo de resolução seguido pelo aluno do que a correção final da resposta obtida, considerando mais a reflexão e a profundidade das soluções do que a rapidez com que são obtidas. Pode valorizar também, o grau em que o processo de resolução envolveu uma tomada de consciência do aluno sobre os passos que deu para alcançar a resposta final e da auto-avaliação sobre seu desempenho na atividade proposta.

No início deste trabalho, destacávamos que a RP pode despertar o interesse do aluno, desenvolver sua criatividade e seu raciocínio, além de estimular associações com diversos tipos

de conhecimentos escolares ou não. Acreditamos que o professor deva ser o agente deste processo, na medida em que cria uma coerência entre a metodologia empregada na atividade e a proposta de problemas que associem domínio conceitual e procedimental, levando em conta as idéias prévias que o aluno traz consigo. Mas para que isso se torne viável, é preciso levar em conta também que a RP precisa se transformar em objeto de estudo da prática docente, pois sem uma didática organizada para promover o conhecimento procedimental e conceitual o aluno não terá êxito neste processo.

Sobretudo, acreditamos que o professor precisa estar identificado com a estratégia que pretende desenvolver e se sinta motivado a realizá-la de maneira significativa. Esta dinâmica positiva certamente terá repercussões no comportamento e no desejo dos alunos em participar e aprender genética a partir dela.

REFERÊNCIAS

- AYUSO, E.; BANET, E. Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. **Enseñanza de las Ciencias**, [Barcelona], v. 20, n. 1, p. 133-157, 2002.
- AYUSO, E.; BANET, E.; ABELLÁN, T. Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato: II ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios?. **Enseñanza de las Ciencias**, [Barcelona], v. 14, n. 2, p. 127-142, 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**, [Barcelona], v. 13, n. 2, p. 137-153, 1995.
- BUGALLO RODRÍGUEZ, A. La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. **Enseñanza de las Ciencias**, [Barcelona], v. 13, n. 3, p. 379-385, 1995.
- COSTA, S.S.C.; MOREIRA, M.A. Resolução de problemas III: fatores que influenciam na resolução de problemas em sala de aula. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, ago. 1997. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>. Acesso em: fev.2004.
- MARRERO, A.R.; MAESTRELLI, S.R.P. Qual a relação existente entre DNA, cromossomos e genes? Conceitos identificados entre os alunos das fases iniciais de cursos da área de saúde da UFSC. In: Congresso Nacional de Genética, 47º, 2001, Águas de Lindóia. **Anais**. São Paulo, 2001. 1 CD-ROM.
- POZO, J.I. (Org.). **A solução de problemas: aprender a resolver, resolver para aprender**. Porto Alegre: Artmed, 1998. 177p.
- SIGÜENZA MOLINA, A.F. Formación de modelos mentales en la genética. **Enseñanza de las Ciencias**, [Barcelona], v. 18, n. 3, p.439-450, 2000.
- SIGÜENZA MOLINA, A.F.; SÁEZ, M. J. Análisis de la resolución de problemas como estrategia de enseñanza de la Biología. **Enseñanza de las Ciencias**. [Barcelona], v. 8, n. 3, p.223-230, 1990.
- STEWART, J. Potential learning outcomes from solving genetics problems: a typology of problems. **Science Education**. [s.l], v. 72, n. 2, p.237-254, 1988.
- STEWART, J.; DALE, M. High school students' understanding of chromosome/gene behavior during meiosis. **Science Education**. [s.l], v. 73, n. 4, p.501-521, 1989.