

**Universidade Federal do Paraná**

**LUCIANO SILVEIRA**

**RECRIAÇÃO DA “SALA DAS MOSCAS” DE MORGAN  
COM ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

**CURITIBA**

**2014**

**Luciano Silveira**

**RECRIAÇÃO DA “SALA DAS MOSCAS” DE MORGAN  
COM ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

Monografia apresentada como requisito parcial à conclusão do Curso de Especialização em Genética para Professores do Ensino Médio, na modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Federal do Paraná. Orientador: Prof<sup>a</sup> Orientadora Dra. Iris Hass

**CURITIBA**

**2014**

# RECRIAÇÃO DA “SALA DAS MOSCAS” DE MORGAN COM ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

## RESUMO

O estudo da genética em sala de aula pode ser incrementado com algumas estratégias pedagógicas diferenciadas, sobretudo se for possível a utilização de materiais biológicos manipulados facilmente pelos alunos. Recriar alguns experimentos realizados por Thomas H. Morgan com as moscas das frutas – *Drosophila melanogaster* acaba por possibilitar um aprendizado inesquecível para os alunos, permitindo a eles realizarem cálculos estatísticos pertinentes às gerações de moscas, analisando as taxas de recombinação ou de manifestação das características parentais, bem como construir mapas evidenciando as distâncias entre os genes. Essa metodologia é possível pois o cultivo das moscas das frutas é algo extremamente acessível e de fácil controle. A aplicação dessa estratégia requer o conhecimento de cada passo da experiência a fim de se saber “onde se deseja chegar”, aquilo que se deseja que o aluno aprenda, bem como monitorar as possíveis variáveis biológicas decorrentes do trabalho. Nesse sentido, tal como Morgan encabeçou seus experimentos juntamente com um grupo de alunos seus e com os mesmos deu oportunidade de livre debate e opinião a eles, a realização deste projeto, vem de encontro com esta interação, produzindo aprendizado concreto inclusive para o professor, podendo sair destes debates, questões plausíveis de novas experiências e, por que não, de novas descobertas científicas.

**PALAVRA-CHAVE:** drosófilas, experimento, aprendizado.

## OBJETIVOS

O presente trabalho visa a integração entre professor e alunos na construção do conhecimento da Genética, vivenciando os passos seguidos por Thomas Hunt Morgan por ocasião dos seus experimentos com a mosca das frutas – a *Drosophila melanogaster* – onde foram levantados dados essenciais para o incremento da ciência dos genes. Desse modo, pode-se elencar os seguintes objetivos:

- Proporcionar ao aluno a experimentação prática dos conhecimentos de Genética trabalhados na sala de aula por meio do uso e manipulação de materiais biológicos, no caso a mosca *Drosophila melanogaster*;
- Oportunizar ao aluno o estabelecimento de dados numéricos a partir da coleta de informações verificadas na prática para tabulação e obtenção de resultados estatísticos;
- Incentivar a interação professor-aluno a partir do debate direto a respeito das observações levantadas nos experimentos, diminuindo a distância entre estes autores e levantando novas possibilidades de análise em cima dos mesmos resultados;

- Promover o destaque de novos talentos para o campo científico, despertando o interesse dos alunos pela investigação científica, abrindo caminho para a formação de novos cientistas.

## JUSTIFICATIVA

Os trabalhos de Thomas Morgan estão diretamente relacionados aos trabalhos de Gregor Mendel, de Walter Sutton e Theodor Boveri. Estes dois últimos, no início de século XX, chegaram à conclusão que o comportamento dos “fatores” a que Mendel se referia nas suas experiências se assemelhava ao dos cromossomos durante as divisões da meiose. Estes dois cientistas defendiam que os genes se localizavam nos cromossomos, criando a conhecida Teoria Cromossômica da Hereditariedade. Mais tarde, Thomas H. Morgan, nos dá uma visão mais aprofundada dos processos de segregação independente de um determinado gene.

Morgan utilizava a mosca das frutas – *Drosophila melanogaster* - para compreender como determinados caracteres eram herdados e transmitidos aos organismos em estudo. Nessas observações, ele verificava características selvagens – ditas parentais – bem como as características recombinantes provenientes destes cruzamentos. À partir dos resultados obtidos, ele desenvolvia cálculos conclusivos que lhe permitiram explicar a respeito de mecanismos genéticos de herança, bem como o posicionamento dos genes nos cromossomos.

Recriar a “sala das moscas” de Morgan e refazer os caminhos analisados por ele acaba por se transformar numa estratégia muito proveitosa para o aluno no que diz respeito ao aprofundamento do seu conhecimento à partir de uma vivência prática quanto aos materiais, métodos e resultados obtidos por um cientista há tantas décadas, numa experiência de fácil manipulação e compreensão, conseguindo estabelecer uma relação interdisciplinar forte referente ao uso de modelos matemáticos para a análise de resultados em fenômenos de cunho biológico.

Para tanto tomaremos como base uma sequência de aulas de laboratório da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis – SC, disponível na internet, que versa sobre o tema: ‘ Aula prática sobre herança mendeliana – experimento com drosófilas’ (ANEXO -1), onde adaptaremos o tema para os alunos do Ensino Médio, como forma de elucidar os conceitos mendelianos e morganianos a respeito das leis que regem a herança genética utilizando moscas drosófilas. ([www.ccb.ufsc.br/giorgini](http://www.ccb.ufsc.br/giorgini))

## INTRODUÇÃO

Quando se observa aquelas mosquinhas que ficam sobrevoando as cestas de frutas das casas de milhares de pessoas em todo o mundo, é natural que acabem por julgá-la como um inseto irritante e incomodativo, ou pelo menos compreender que as frutas dispostas na cesta estão ficando cada vez mais maduras. No entanto, essas mosquinhas à luz das Ciências Biológicas, são muito mais do que meras indicadoras de maturação de frutas. Elas podem ser consideradas como valiosas ferramentas de pesquisa genética, adquirindo por essa razão um *status* de material de pesquisa de grande valia.

*Drosophila melanogaster* é o nome de uma das espécies desta mosca, e graças a suas variedades fenotípicas, elas foram utilizadas por Thomas Hurt Morgan para decifrar uma importante propriedade hereditária conhecida como Lei de Morgan – ou linkage.

“Morgan e sua equipe, (...) usavam como objeto de estudo a pequena *Drosophila melanogaster*, muito fácil de criar em laboratório: a 24° C, seu ciclo biológico dura menos de duas semanas. Assim, muitas gerações podem ser estudadas em pouco tempo. Outra vantagem é a fertilidade desses insetos, já que um único casal pode produzir centenas de descendentes. Nas drosófilas são relativamente frequentes as variações hereditárias, resultantes de mutações (...). Um dos cuidados de Morgan consistia justamente em ‘coleccionar’ e estudar detalhadamente todas as mutações que apareciam nas moscas de seu laboratório. Quando reconhecia uma mutação ele cruzava as moscas com o fenótipo mutante com as de fenótipo normal (também conhecido como fenótipo selvagem), verificando se a característica obedecia a primeira lei e, tentando, em cada caso, verificar qual era o fenótipo dominante. Morgan ainda estudava os caracteres dois a dois, verificando se obedeciam ou não à segunda lei de Mendel.” César, Sezar e Caldini – Biologia vol.3

“T. H. Morgan e seus colaboradores trabalharam com a mosca da fruta, *Drosophila melanogaster*, e realizaram cruzamentos em que estudaram dois ou mais pares de genes, verificando que, realmente, nem sempre a 2ª Lei de Mendel era obedecida. Concluíram que esses genes não estavam em cromossomos diferente, mas, sim, encontravam-se no mesmo cromossomo (em linkage).” [www.sobiologia.com.br/conteudos/Genetica/2leidemendel4.php](http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Genetica/2leidemendel4.php)

A ideia de utilizar moscas das frutas em sala de aula para recriar a “sala das moscas de Morgan” vem de encontro a uma importante tarefa de permitir a visualização *in loco* dos passos desse importante cientista e sua equipe. Dessa forma, o grande abismo que existe entre teoria e prática no estudo da biologia na educação básica, acaba por se esvaír, aumentando a capacidade de compreensão dos alunos. Com estes experimentos, é possível obter dados referentes a genes ligados em mesmos cromossomos, além de permitir a elaboração de mapas cromossômicos que evidenciam as distâncias entre um gene e outro.

Assim, o referido trabalho promove a interação entre educador e educando, o estreitamento na relação entre os alunos, os quais passam a colaborar entre si num verdadeiro sentimento de equipe, cujo propósito único é o de obter dados científicos de maneira consistente e compreensível em pleno curso do Ensino Médio.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tomando por base uma sequência de aulas de laboratório da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis – SC, disponível na internet, que versa sobre o tema: ‘ Aula prática sobre herança mendeliana – experimento com drosófilas’ viu-se a possibilidade de desenvolver esse tema adaptado aos alunos do Ensino Médio como forma de elucidar os conceitos mendelianos e morganianos a respeito das leis que regem a herança genética utilizando moscas drosófilas. ([www.ccb.ufsc.br/giorgini](http://www.ccb.ufsc.br/giorgini)).

A edição da revista Genética na Escola nº 52 do ano de 2010, versão on line traz uma importante matéria a respeito do tema: “ Há cem anos, uma mosquinha, a *Drosophila*, foi empregada pela primeira vez como organismo experimental para dar suporte a algumas teorias de uma ciência ‘novata’: a Genética. Com o passar dos anos, essa mosquinha se tornou mais e mais popular na ciência. Revelou-se um modelo muito versátil e hoje, na era genômica, ela vem sendo usada para auxiliar no entendimento de fenômenos biológicos muito diversos, entre eles os processos do desenvolvimento, envelhecimento, câncer, mal de Alzheimer, comportamentos de aprendizagem, alcoolismo entre tantas outras aplicações (...), destacamos seu potencial para aplicação na sala de aula e sugerimos algumas leituras interessantes sobre este organismo-modelo centenário e ainda tão promissor. A estreia da mosca das frutas como organismo- modelo para elucidar mecanismos de transmissão de características e estabelecer as relações entre genes e fenótipos ocorreu em 1910, quando Thomas Hunt Morgan publicou na revista Science os resultados de pesquisas com cruzamentos de *Drosophila melanogaster*. Desde então, *Drosophila* tornou-se um dos organismos-modelo mais estudados e versáteis da pesquisa em Genética. (...) Mas o que permitiu à *Drosophila* ser tão adequada como organismo-modelo? A facilidade e o baixo custo de manutenção em laboratório; um ciclo de vida curto, que permite o nascimento de uma nova geração a cada dez dias; a produção de proles numerosas, pois uma única fêmea pode gerar centenas de descendentes; a complexidade das características fenotípicas morfoanatômicas e metabólicas; a possibilidade de observar os cromossomos de modo mais detalhado. (...) Através da análise dos resultados de vários cruzamentos, Morgan demonstrou que a cor do olho em *D. melanogaster*, – a pequena mosca das frutas - era determinada por um gene que fica em um dos cromossomos sexuais. Nessa espécie de mosca, as fêmeas têm dois cromossomos X e os machos, um X e um Y. O padrão de transmissão da cor do olho era diferente das proporções mendelianas típicas.

Morgan concluiu que a transmissão da característica estudada dependia de um gene que estava localizado no cromossomo X. Pela primeira vez, um gene responsável por uma característica ganhou um local específico: os genes estão mesmo nos cromossomos. (...) (<http://geneticanaescola.com.br/wp-home/wp-content/uploads/2012/10/Genetica-na-Escola-51-Artigo-09.pdf>)

A partir do primeiro trabalho, Morgan e seus alunos Alfred Sturtevant, Calvin Bridges e Herman Muller, no curto espaço de cinco anos, publicaram uma série de artigos importantes que constituíram o suporte para a teoria cromossômica da herança. Os genes realmente ocupavam posições fixas nos cromossomos e, através de cruzamentos apropriados, era possível estabelecer em que ordem eles estavam organizados. Foi com *Drosophila melanogaster* que Morgan e seus colaboradores produziram os primeiros mapas genéticos, indicando as posições e distâncias relativas entre os genes de um mesmo cromossomo. (...). Os trabalhos de Thomas Morgan e seu grupo foram desenvolvidos em um pequeno laboratório, conhecido como a “Sala das Moscas” (fly room), na Universidade de Columbia (New York). Foi nesse ambiente pequeno, quase todo ocupado por prateleiras com frascos cheios de moscas, que as bases da Genética foram construídas e a *Drosophila* tornou-se um dos organismos mais úteis para a Ciência. Por várias décadas a “Sala das Moscas” não parou de produzir novidades. Em 1927, Muller demonstrou que expor *Drosophila* aos raios X ou a outras radiações ionizantes provocava aumento nas taxas de mutações e de rearranjo cromossômico. Essa descoberta não só abriu as portas para o entendimento das mutações, como facilitou a obtenção de novos fenótipos para as investigações genéticas. Logo os laboratórios estavam cheios de linhagens mutantes, com inversões e deleções cromossômicas provocadas pela exposição à radiação. Esse rico material permitiu, aos pesquisadores do início de século XX, novos e variados experimentos, acelerando a obtenção de informações sobre os fenômenos genéticos a partir das mutações obtidas nos estoques de *Drosophila* (Rubin e Lewis, 2000). (...) Mendel concluiu que os genes segregavam independentemente entre si (SEGUNDA LEI DE MENDEL). Entretanto, há um método de cruzamento bem mais simples, elaborado por Morgan, que consiste em cruzar indivíduos que diferem entre si por dois caracteres (AABB X aabb) obtendo a geração F1 (todos AaBb) da qual indivíduos são cruzados com portadores dos caracteres condicionados pelos alelos recessivos, isto é, com duplo homocigotos recessivos (aabb). O resultado (F2) é apresentado no Quadro 1. (<http://www.coladaweb.com/biologia/genetica/ligacao-genetica-parte-1>)

Pelo Quadro 1, vê-se que os fenótipos dos indivíduos produzidos pelo cruzamento do F1 com o duplo recessivo corresponde à constituição genética dos gametas produzidos pelo heterocigoto. Dessa forma, as frequências das classes fenotípicas obtidas nesse cruzamento correspondem às frequências dos tipos de gametas produzidos pelo heterocigoto. Se esses dois pares de genes segregam independentemente, a

frequência de cada classe fenotípica é igual a 25%, ou seja, tem-se a proporção 1:1:1:1. Caso contrário, tais proporções não serão observadas.

Quadro 1: Genótipos e Fenótipos obtidos após união dos Gametas F1, com o único tipo de gametas (ab) produzindo duplo recessivo aabb.

GAMETAS F1	GAMETA PARENTAL	GENÓTIPOS F2	FENÓTIPOS F2	FREQÜÊNCIAS ESPERADAS
AB	Ab	AaBb	AB	25 %
Ab	Ab	Aabb	Ab	25 %
aB	Ab	aaBb	aB	25 %
Ab	Ab	Aabb	Ab	25 %

(<http://www.coladaweb.com/biologia/genetica/ligacao-genetica-parte-1>)

## GENES LIGADOS E RECOMBINAÇÃO

Algumas drosófilas, ao invés de apresentarem olhos de cor-vermelha normal, apresentam olhos de cor marrom; outras apresentam asas anormais, com as pontas curvadas para trás. O caráter olho de cor marrom é condicionado por um gene recessivo *bw* e a cor vermelha normal é determinada por um gene dominante *bw+*. É possível, portanto, estabelecer-se uma linhagem constituída exclusivamente por moscas de olhos de cor marrom, isto é, homozigotas *bw bw*. Observou-se também que a asa anormal acima descrita é condicionada por um gene recessivo *arc* e, portanto, pode-se também estabelecer uma linhagem em que todas as moscas apresentam asa anormal isto é, sejam homozigotas *arc arc*.

Isoladamente, ambos os caracteres seguem perfeitamente a primeira lei de MENDEL, isto é, o cruzamento entre um heterozigoto e um homozigoto recessivo produz descendentes com fenótipos dominantes e recessivos, na proporção de 1:1. Entretanto, não segregam independentemente entre si. Isto pode ser evidenciado com o seguinte cruzamento teste: mosca da linhagem selvagem, duplo homozigotas normais *bw+arc+/bw+arc+* são cruzadas com moscas da linhagem mutante, olho marrom e asa arqueada, ou seja, duplo homozigotas recessivas *bw arc/bw arc*; a primeira geração (F1) é constituída exclusivamente por moscas heterozigotas com olhos e asas normais *bw+arc+/bw arc*. Em seguida, cruzando-se uma fêmea F1 *bw+arc+/bw arc* com macho de olho marrom e asa arqueada, portanto duplo recessivo *bw arc/bw arc*, a fêmea deve produzir quatro tipos de gametas, a saber: *bw+arc+*, *bw arc*, *bw arc+* e *bw arc* os quais, após a fusão com o único tipo possível de gameta *bw arc* produzido pelo macho duplo recessivo, produzem quatro fenótipos (Quadro 2).

(<http://www.coladaweb.com/biologia/genetica/ligacao-genetica-parte-1>)



No cruzamento descrito do Quadro 2, apesar de terem sido obtidas as quatro classes fenotípicas, suas frequências foram muito diferentes das esperadas: o primeiro fenótipo apresentou uma porcentagem de 47,4%, o segundo e o terceiro, 2,6% e o último, 47,4%. Note-se que o primeiro fenótipo é semelhante ao exibido pela mãe enquanto que o último é semelhante ao do pai e, por esta razão, são chamados fenótipos parentais, enquanto que o segundo e o terceiro fenótipos representam uma "mistura" entre os fenótipos da mãe e do pai, razão pela qual são chamados de fenótipos recombinantes.

Quadro 2. Descendência de cruzamento teste entre fêmea duplo heterozigota e macho duplo homozigoto recessivo para as características cor de olho e tipo de asa em drosófila.

GAMETAS MATERNOS	GENÓTIPO DA GERAÇÃO F2	FENÓTIPOS DA GERAÇÃO F2	FREQUÊNCIAS OBSERVADAS
bw+arc+	bw+arc+/bw arc	Selvagem (olhos e asas normais)	47,4%
bw+arc	bw+arc/bw arc	Olho normal, asa arqueada	2,6%
bw arc+	bw arc+/bw arc	Olho marrom e asa normal	2,6%
bw arc	bw arc/bw arc	Olho marrom-asa arqueada	47,4%

(<http://www.coladaweb.com/biologia/genetica/ligacao-genetica-parte-1>)

Se ao invés de uma fêmea F1, for utilizado um macho F1 duplo heterozigoto para o cruzamento com uma fêmea duplo recessiva, serão produzidas somente duas classes fenotípicas correspondentes aos fenótipos parentais, com 50% de frequência para cada uma. Não há recombinação nos machos de drosófila. A interpretação dada para estes fatos é a de que ambos os genes bw e arc se localizam próximos um do outro no mesmo cromossomo e, desta maneira, tendem a ser herdados conjuntamente (não segregam independentemente) e são, por isso, chamados de genes ligados (ou em linkage). Desta forma, no macho do segundo cruzamento, o cromossomo com os genes bw+ e arc+ foi para um gameta e outro cromossomo, com os genes bw e arc foi para outro gameta, não havendo a formação de um gameta

recombinante bw+arc ou bw arc+. Isto explicaria o observado no segundo cruzamento, mas o caso da fêmea F1 do primeiro cruzamento em que foram produzidas as quatro classes fenotípicas seria explicado pela existência, na meiose, de um rearranjo cromossômico no progenitor heterozigoto, chamado crossing-over.” (<http://www.coladaweb.com/biologia/genetica/ligacao-genetica-parte-1>)

## **METODOLOGIA**

O presente trabalho será organizado nas seguintes etapas:

- Abordagem teórica e concepções sobre as leis de Mendel e de Morgan junto aos alunos de duas turmas de 3º ano do Ensino Médio;
- Escolha de 10 alunos participantes selecionados pelos critérios de interesse e envolvimento, mesmo considerando que alguns dos selecionados não fossem referências em rendimento escolar.
- Confecção dos meios de cultura com a utilização de garrafas transparentes de plástico, banana, fermento biológico e gelatina transparente em folhas;
- Captura das moscas utilizando banana e mamão bastante maduros;
- Transferência das moscas para o meio de cultura dentro das garrafas fechadas com rolhas de algodão e gaze para permitir a entrada de ar;
- Escolha das características a serem analisadas: olhos vermelhos (selvagem) e olhos marrons (mutantes); asa normal (selvagem) e asa arqueada (mutante);
- Acompanhamento do ciclo de vida dos insetos, verificando as características fenotípicas das gerações obtidas e separando as classes parentais para a obtenção dos devidos cruzamentos.
- Análise das gerações obtidas, verificações com microscópios estereoscópicos as linhagens esperadas.
- Tabulação dos resultados e análises dos números de indivíduos selvagens e mutantes com reflexões em sala de aula.
- Construção de mapas cromossômicos à partir dos resultados obtidos.
- Novo encontro com os alunos participantes afim de se levantar observações específicas sobre todo o processo, bem como esclarecer os cálculos obtidos em decorrência do mesmo.
- Obtenção de um “feed-back” verbal por parte dos alunos, explanando seus pontos de vista e levantando algumas questões e dúvidas oriundas do processo.
- Elaboração dos relatórios e reflexões.

## APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após uma semana de trabalho em contraturno com alguns alunos selecionados, chegou-se aos seguintes resultados:

- Obtenção de um grupo de 216 moscas drosófilas à partir de restos de banana e mamão em garrafas PET;
- Captura das mesmas com sacos plásticos emborcados nas garrafas e transferência do grupo para o interior de um freezer por cerca de uma hora;
- Análise com o microscópio estereoscópico das variedades fenotípicas das drosófilas, separando machos e fêmeas bem como aquelas moscas com os fenótipos específicos, no caso, olhos vermelhos e marrons, e com relação às asas as variedades arqueadas e normais. As demais características não interessantes foram descartadas. Além destas características observou-se a presença do fenótipo olho branco em algumas moscas as quais foram descartadas. A ideia era apenas familiarizar os alunos quanto aos aspectos analisáveis em genética de drosófilas;
- Após alguns dias foi produzido um meio de cultura com a utilização de garrafa transparente de plástico, banana, fermento biológico e gelatina transparente em folhas; o referido frasco ficou aberto por dois dias até se perceber a presença de uma quantidade adequada de moscas;
- Abertura do frasco após cinco dias para a contagem das linhagens obtidas; Aplicação de um algodão embebido em éter no fundo do frasco objetivando uma breve anestesia das moscas, transferindo-se as mesmas para placas de petri e separação de um macho de olhos marrons e asas arqueadas e uma fêmea de olhos vermelhos e asas normais alongadas.
- Transferência de três machos de olhos marrons e asas arqueadas e três fêmeas de olhos vermelhos e asas normais para um novo meio de cultura no intuito de proporcionar o cruzamento entre eles e obtenção de uma geração F1.
- Abertura do frasco após onze dias, onde se observou a presença de filhotes;
- Tabulação dos resultados.

Abaixo são apresentados os quadros construídos pelos alunos com base nas suas observações:

**QUADRO 1** – Genótipos e seus respectivos fenótipos analisados no trabalho:

GENÓTIPOS	FENÓTIPOS
*bw+/_	Olhos vermelhos
bw/bw	Olhos marrons
*arc+/_	Asas normais
arc/arc	Asas arqueadas

\*não é possível precisar se o genótipo é homocigoto ou heterocigoto.

**QUADRO 2** – Genótipos e fenótipos dos parentais

	Fêmeas	Machos
Fenótipos	Olhos vermelhos e asas normais	Olhos marrons e asas arqueadas
Genótipos	*bw+ arc+//_____	bw arc//bw arc

\*não é possível precisar se o genótipo é homocigoto ou heterocigoto.

**QUADRO 3**- Cultura livre desenvolvida apenas com banana e mamão em frasco PET aberto. – obs: os valores se sobrepõem:

	Olhos vermelhos	Olhos marrons	Asas normais	Asas arqueadas	TOTAL
MACHOS	_____	_____	_____	_____	80
FÊMEAS	_____	_____	_____	_____	136
TOTAL DE INDIVÍDUOS	179	33	168	48	216

Para saber se as frequências observadas entre machos e fêmeas possuem alguma relevância do ponto de vista genético, formulou-se a seguinte hipótese: “ a frequência de indivíduos fêmeas será sempre maior que a frequência de indivíduos machos, promovendo alterações significativas nos resultados obtidos?”. Então partiu-se para o teste do  $\chi^2$ :

	Indivíduos machos	Indivíduos fêmeas	$\chi^2$ calculado	Graus de liberdade	Significância	$\chi^2$ esperado
Observado	80	136	7,259	1	5%	5,991
Esperado	108	108	7,259	1	5%	5,991

Com base nos cálculos apresentados na tabela, conclui-se que a hipótese acima levantada pode ser rejeitada, ou seja, a frequência de indivíduos fêmeas nem sempre será maior que a frequência de indivíduos machos, portanto, não promove alterações significativas nos resultados obtidos

Comentários sobre os dados obtidos no quadro 3: o grupo percebeu a frequência muito maior das características **olhos vermelhos e asas normais**, possibilitando aos alunos formularem previamente a hipótese de que esses dois fenótipos sejam dominantes em relação aos olhos marrons e asas arqueadas.

Relacionando os resultados obtidos com o Princípio de Hardy-Weinberg podemos analisar as frequências gênicas e genóticas referentes aos caracteres COR DO OLHO e ASPECTO DA ASA:

#### COR DO OLHO

Olhos vermelhos: 179 indivíduos, ou seja, 84,43%

Olhos marrons: 33 indivíduos, ou seja, 15,56%

Assim, temos as seguintes frequências:

- 15,56% ou  $q^2=0,1556$ . Logo  $q=0,394$  (referentes ao alelo recessivo)

Então,  $p+q=1$  -----  $p+0,394=1$  ----  $p=1-0,394$  -----  $p=0,606$

Portanto temos: Frequência do gene **bw+** (p) é igual a 60,6%

Frequência do gene **bw** (q) é igual a 39,4%

Assim, as frequências genóticas envolvendo homozigotos dominantes, recessivos e heterozigotos é a seguinte:

$$p^2+2pq+q^2=1 \text{ ----- } (0,606)^2 + 2 (0,606)(0,394) + (0,394)^2 = 1$$

$$0,367 + 0,477 + 0,155 = 1$$

Desse modo, conclui-se que as frequências genóticas para a cor do olho das Drosófilas são as seguintes:

$bw+/bw+ = 36,7\%$

$bw+/bw = 47,7\%$

$bw/bw = 15,5\%$

ASPECTO DA ASA:

Asas normais: 168 indivíduos, ou seja, 77,77%

Asas arqueadas: 48 indivíduos, ou seja, 22,23%

Assim, temos as seguintes frequências:

- 22,23% ou  $q^2=0,222$ . Logo  $q=0,471$  (referentes ao alelo recessivo)

Então,  $p+q=1$  -----  $p+0,471=1$  ----  $p=1-0,471$  -----  $p=0,529$

Portanto temos: Frequência do gene **arc+** (p) é igual a 52,9%

Frequência do gene **arc** (q) é igual 47,1%

Assim, as frequências genotípicas envolvendo homozigotos dominantes, recessivos e heterozigotos é a seguinte:

$$p^2+2pq+q^2=1 \text{ ----- } (0,529)^2 + 2 (0,529)(0,471) + (0,471)^2 = 1$$
$$0,280 + 0,498 + 0,222 = 1$$

Desse modo, conclui-se que as frequências genotípicas para o aspecto das asas das Drosófilas são as seguintes:

$arc+/arc+ = 28\%$

$arc+/arc = 49,8\%$

$arc/arc = 22,2\%$

Com relação as amostras de drosófilas obtidas apresentarem um número tão baixo de indivíduos, levantou-se as seguintes hipóteses:

1. Os meios de cultura não foram adequadamente preparados;
2. O tempo de desenvolvimento da cultura pode ter sido insuficiente;
3. Más condições para o desenvolvimento das larvas e pupas durante o período de maturação das mesmas, o que pode ter resultado num pequeno número de indivíduos que atingiram o estágio adulto.

**QUADRO 4** – Cultura em frascos à base de banana, fermento biológico e gelatina transparente em folhas;

	Olhos vermelhos	Olhos marrons	Asas normais	Asas arqueadas	TOTAL
MACHOS	_____	_____	_____	_____	12
FÊMEAS	_____	_____	_____	_____	9
TOTAL DE INDIVÍDUOS	18	3	16	5	21

**QUADRO 5-** Indivíduos obtidos em F1 após o cruzamento dos parentais.

	Olhos vermelhos e asas normais	Olhos vermelhos e asas arqueadas	Olhos marrons e asas normais	Olhos marrons e asas arqueadas	TOTAL
MACHOS	_____	_____	_____	_____	12
FÊMEAS	_____	_____	_____	_____	20
TOTAL	16	3	1	12	32

Comentários sobre os dados obtidos nos quadros 4 e 5: Nesse caso também observou-se as frequências maiores nos fenótipos **olhos vermelhos e asas normais**, evidenciando mais uma vez a hipótese desses caracteres serem dominantes. Observa-se que as referidas características fenotípicas não são diretamente relacionadas ao sexo masculino ou feminino, fator esse que leva a concluir que os caracteres estudados não podem ser definidos como um tipo de herança ligada ao sexo, sendo portanto, autossômicas, o que, pela frequência numérica tabulada acima, leva num primeiro momento, a concluir tratar-se de herança dominante, pois observa-se que, à partir de casais dominantes – provavelmente heterozigotos – surgiram filhotes com os caracteres recessivos.

Após analisar os resultados numéricos obtidos à partir da contagem das drosófilas, os alunos foram desafiados a trabalhar os aspectos estatísticos das suas observações. Com isso produziu-se o quadro 6:

**QUADRO 6** – Análise estatística dos resultados da F1 observados em relação aos resultados esperados.

	Olhos vermelhos e asas normais	Olhos vermelhos e asas arqueadas	Olhos marrons e asas normais	Olhos marrons e asas arqueadas
Percentual Observado	50%	9,375%	3,125%	37,5%
Percentual Esperado	47,4%	2,6%	2,6%	47,4%

Em seguida, partiu-se para a compreensão do conceito de distância entre os genes utilizando-se da medida em centiMorgan. Para tanto, foi explicado aos alunos que seria necessário utilizar-se os dados referentes às **taxas esperadas** e não as observadas para a realização dos cálculos. Em seguida fez-se a mesma comparação, porém desta vez, utilizando-se das taxas observadas. Estão representados os mesmos nos quadros 7 e 8:

**QUADRO 7** – Distância entre os genes bw e arc com base nos resultados esperados

Taxa esperada dos parentais	94,8% (47,4% + 47,4%)
Taxa esperada dos recombinantes	5,2% (2,6% + 2,6%)
Distância entre os genes bw e arc	5,2 centimorgan

Diagrama de um segmento de cromossomo com os genes **bw** e **arc**. A distância entre os genes é indicada como **5,2 cM**.



**QUADRO 8** – Distância entre os genes bw e arc com base nos resultados observados:

Taxa observada dos parentais	87,5% (50% + 37,5%)
Taxa observada dos recombinantes	12,5% (9,37% + 3,125%)
Distância entre os genes bw e arc de acordo com os resultados observados	5,2 centimorgan

Comentários sobre os dados obtidos nos quadros 7 e 8: Conforme instruções, construiu-se um mapa evidenciando as distâncias entre os genes bw (referente a cor dos olhos) e arc (referente ao aspecto das asas). Essa conclusão possibilitou aos alunos compreenderem o conceito de genes ligados. Comentou-se com eles que considerassem e atribuíssem maior ênfase aos resultados do quadro 7, pois o mesmo já fora trabalhado por outros pesquisadores, os quais o fizeram com maior exatidão de dados e com anulação das variáveis a que o nosso experimento encontrava-se submetido. Assim confirmou-se as ideias contidos no texto utilizado como fundamento teórico:

“Quando duas características são controladas por genes localizados no mesmo cromossomo, dizemos que estes estão ligados e a denominação que se dá a este fenômeno é **linkage** ou **ligação gênica**. (...) Genes ligados tendem a ir para o mesmo polo durante a meiose (ligação completa). (...) Nem sempre os genes ligados caminham juntos para o mesmo gameta, uma vez que pode ocorrer crossing-over (permutação). Quando há uma troca de pares entre as cromátides homólogas, ocorre a separação dos genes outrora ligados. Assim, a meiose formará os gametas de recombinação, em razão de uma ligação parcial. Quanto mais distantes os genes ligados estiverem, maior a possibilidade de permutação. A distância entre eles pode ser calculada pela soma dos gametas de recombinação, denominada taxa de crossing (ou taxa de recombinação). Assim, o primeiro passo é identificar os indivíduos de recombinação (gametas obtidos por permutação, diferentes dos parentais) e, depois, soma-se seus valores, transformando-os em porcentagem. A unidade de medida é UR (unidade de recombinação) ou cM (centimorgans).”  
<http://www.brasilecola.com/biologia/genes-ligados.htm>

## CONCLUSÕES

Após todas as etapas listadas acima, chegou-se às seguintes conclusões junto aos alunos:

- Apesar dos resultados não satisfatórios obtidos na geração F1 das drosófilas, foi muito interessante a realização do trabalho junto aos alunos, os quais conseguiram entender o uso desse organismo como modelo de estudo devido ao seu rápido ciclo de vida e a grande visibilidade dos fenótipos em análise;
- Os erros entre as porcentagens de características **observadas** e **esperadas** pode ter ocorrido devido ao pequeno número de drosófilas que se desenvolveram no meio de cultura inicial, evidenciando uma baixa variação genética na população;
- Quanto a impressão dos alunos com relação ao trabalho, pode-se dizer que os mesmos conseguiram estabelecer uma ponte entre a teoria e a prática, bem como a aplicação da metodologia científica. Segundo eles foi possível também uma melhor visualização dos trabalhos construídos pelo próprio Morgan.

## BIBLIOGRAFIA

Bases Históricas e Conceituais da Genética – Módulo 2 - Prof. Dr<sup>a</sup> Nina Amália Brancia Pagnan.

Silvia Júnior, César da – Biologia 3: genética, evolução e ecologia / César da Silva Júnior, Sezar Sasson, Nelson Caldini Júnior – 9<sup>a</sup> ed. – São Paulo : Saraiva 2010.

Sites: [http:// www.sobiologia.com.br/conteudos/Genetica/2leidemendel4.php](http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Genetica/2leidemendel4.php)

<http://www.sc.didaxis.pt/hereditariedade/drosophila.htm>

<http://www.biomania.com.br/bio/conteudo.asp?cod=1220>

<http://www.ordembilogos/Biologias/N2.html>

<http://geneticanaescola.com.br/wp-home/wp-content/uploads/2012/10/Genetica-na-Escola-51-Artigo-09.pdf>

<http://geneticanaescola.com.br/wp-home/wp-content/uploads/2012/10/Genetica-na-Escola-52-Artigo-10.pdf>

<http://revistaescola.abril.com.br/ensino-medio/drosofilas-voam-mendel-darwin-revele-turma-432012.shtml>

<http://www.biomania.com.br/bio/conteudo.asp?cod=3159>

[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2010/anais/arquivos/0287\\_0515\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/0287_0515_01.pdf)

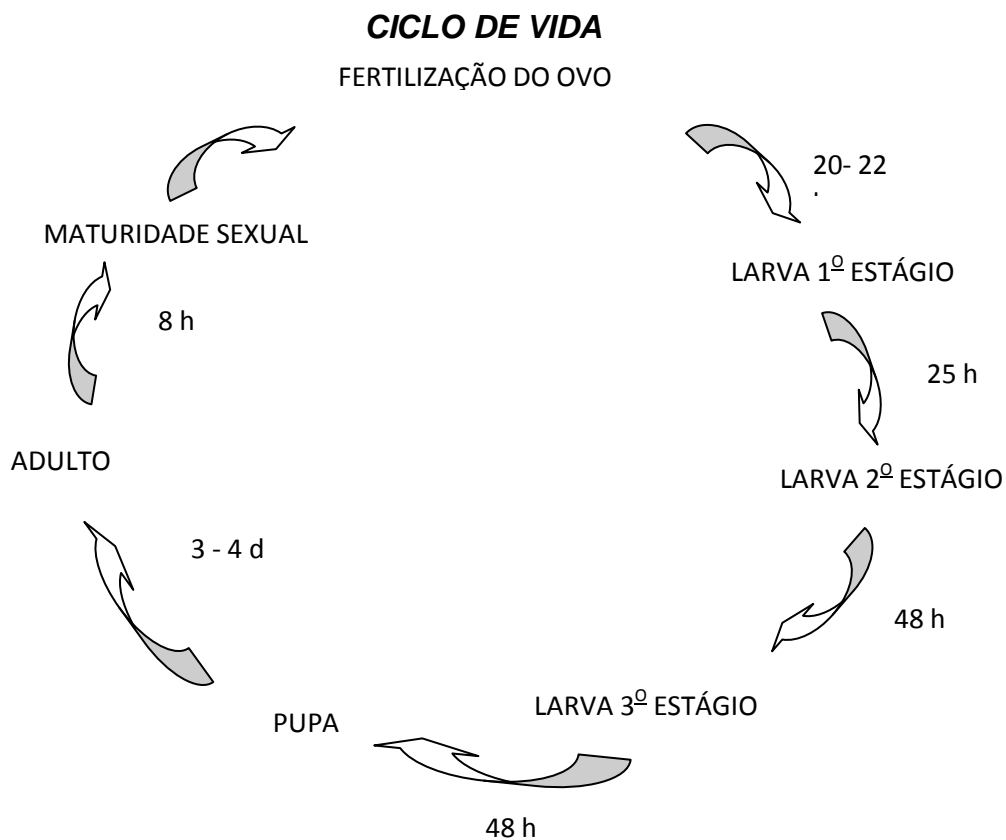
<http://www.brasilecola.com/biologia/genes-ligados.htm>

## ANEXOS

Segue abaixo o roteiro de trabalho com alunos da UFSC que inspirou o presente trabalho:

### **IMPORTÂNCIA DA DROSOPHILA COMO MATERIAL DE ESTUDO**

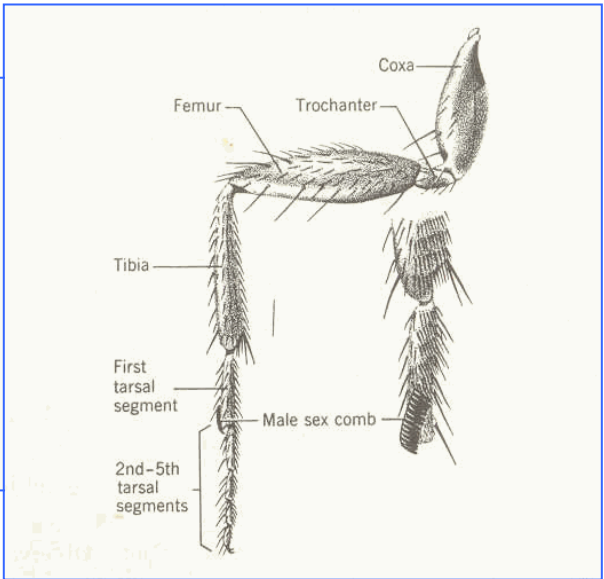
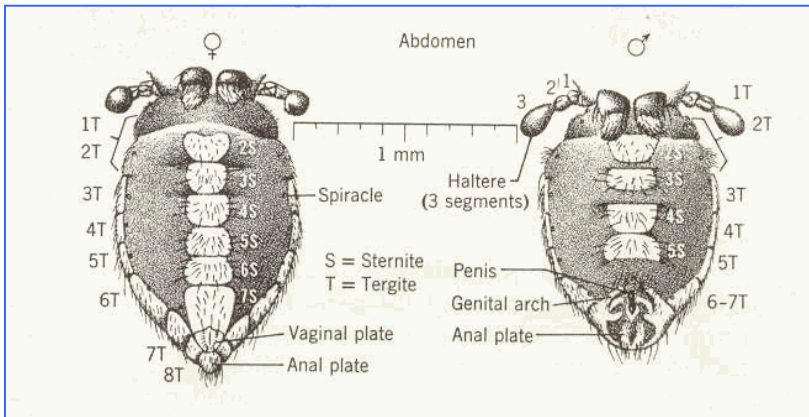
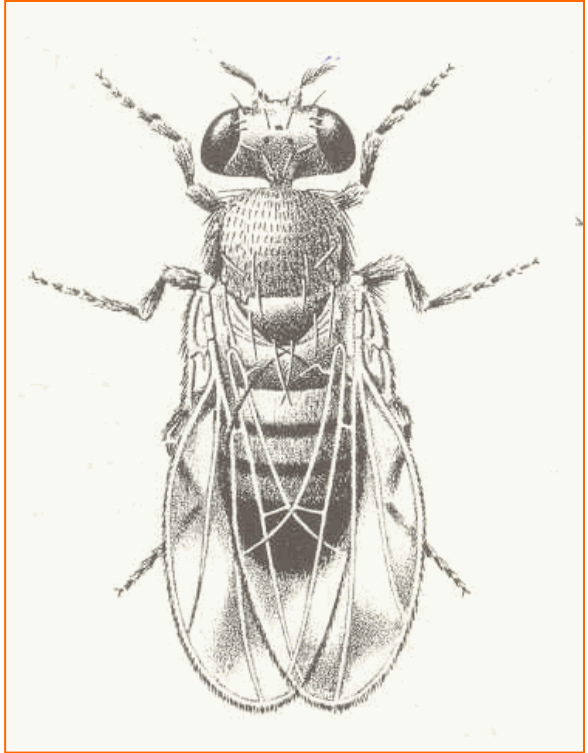
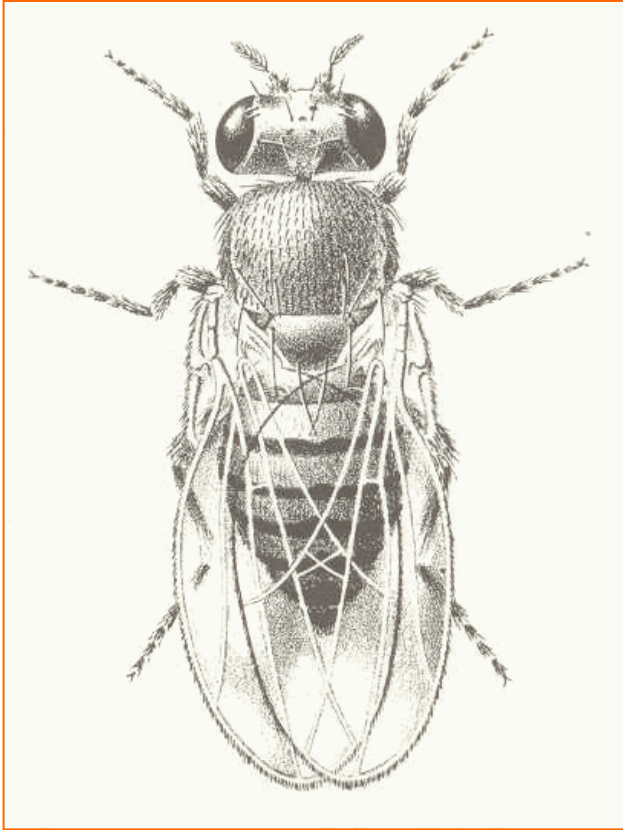
- 1- *Cultura fácil e econômica*
- 2- *Cruzamento prolífero (1 fêmea produz mais de 100 ovos)*
- 3- *Ciclo de vida curto (25°C)*
- 4- *Grande número de caracteres externos*
- 5- *Cerca de 100 anos de pesquisa*



**DIFERENCIAÇÃO ENTRE MACHO E FÊMEA DE DROSOPHILA**  
**UFSC/CCB-BEG - DISCIPLINA GENÉTICA GERAL**  
**AULA PRÁTICA SOBRE HERANÇA MENDELIANA -**  
**EXPERIMENTOS COM DROSÓFILA**



**AULA 1**



**Descreva:**

- a) *Objetivo desta aula*
- b) *Objetivo final do experimento*
- c) *As vantagens de ser usada a drosófila como organismo modelo de estudo em genética*
- d) *As características diferenciadoras entre macho e fêmea de drosófila*
- e) *Quais os mutantes observados nesta aula e suas principais características*

*Florianópolis, .../.../200....*

*Nome do aluno .....*

*Visto do Professor .....*

Numero do cruzamento
-------------------------

**UFSC/CCB-BEG - DISCIPLINA GENÉTICA GERAL**  
**AULA PRÁTICA SOBRE HERANÇA MENDELIANA -**  
**EXPERIMENTOS COM DROSÓFILA**  
**AULA 2**

Descreva:

a) Objetivo desta aula

b) Qual ou quais foi ou foram o(s) fenótipo(s) observado(s) e em que frequência? (Obs.: se tiver algum indicativo de que se trata de uma herança ligada ao sexo, conte os fenótipos dentro de machos e dentro de fêmeas), se não tiver, preencha somente o número total por fenótipo.

Sexo	Fenótipo	
Fêmeas		
Machos		
<b>Total</b>		

c) Você teria, neste momento, alguma pista dos possíveis genótipos e dos fenótipos dos parentais usados para formar as progênes que agora está avaliando? Justifique.

Florianópolis, .../.../200....

Nome do aluno .....

Visto do Professor .....

Numero do cruzamento
-------------------------

**UFSC/CCB-BEG - DISCIPLINA GENÉTICA GERAL**  
**AULA PRÁTICA SOBRE HERANÇA MENDELIANA -**  
**EXPERIMENTOS COM DROSÓFILA**  
**AULA 3**

Descreva:

a) *Objetivo desta aula*

b) *Qual(is) foi ou foram o(s) fenótipo(s) observado(s) e em que frequência? (Obs.: se tiver algum indicativo de que se trata de uma herança ligada ao sexo, conte os fenótipos dentro de machos e dentro de fêmeas), se não tiver, preencha somente o número total por fenótipo.*

<i>Fenótipo</i>	<i>Frequência observada</i>	<i>Frequência esperada</i>
<b>Total</b>		

c) *Com base nos dados da aula anterior e os desta, idealize uma hipótese sobre o genótipo, fenótipo e de herança do(s) gene(s) envolvido(s) dos possíveis parentais usados para formar as progênes que agora está avaliando e:*

1 - *Faça uma diagrama do cruzamento e das gerações derivadas com os respectivos genótipos e fenótipos.*

2- *Complete a tabela com os valores esperados segundo a sua hipótese*

*Florianópolis, .../.../200....*

*Nome do aluno .....*

*Visto do Professor .....*

Numero do cruzamento
-------------------------

**UFSC/CCB-BEG - DISCIPLINA GENÉTICA GERAL**  
**AULA PRÁTICA SOBRE HERANÇA MENDELIANA -**  
**EXPERIMENTOS COM DROSÓFILA**

**AULA 4**

Descreva:

a) Objetivo desta aula

b) Qual(is) foi ou foram o(s) fenótipo(s) observado(s) e em que frequência? Calcule o esperado com base na hipótese de herança sugerida na última aula e calcule a estatística qui-quadrado.

<b>Fenótipo</b>	<b>Frequência observada</b>	<b>Frequência esperada</b>	<b>Frequência obs.- esperada (desvio)</b>	<b>Desvio ao quadrado</b>	<b>Desvio ao quadrado / esperado</b>
Selvagem					
.....					
.....					
.....					
<b>Total</b>					*

Obs. \* a somatória desta coluna é o valor de qui-quadrado.

c) Com base no valor calculado de qui-quadrado e o esperado para o número de graus de liberdade (ver tabela) descreva a sua conclusão comentando as diferenças observadas, se são ou não toleráveis estatisticamente e a que nível de probabilidade.

Florianópolis, .../..../200....

Nome do aluno .....

Visto do Professor .....

Numero do cruzamento
----------------------