

Mendel e depois de Mendel

Lilian Al-Chueyr Pereira Martins¹, Maria Elice Brzezinski Prestes²

¹ Departamento de Biologia, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP.

² Departamento de Genética e Biologia Evolutiva, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, SP.

Autor para correspondência: lacpm@ffclrp.usp.br

Embora o nome de Johann Gregor Mendel (1822-1884) seja associado geralmente à Genética e às “Leis de Mendel”, poucas pessoas tiveram a oportunidade de conhecer o conteúdo de seu artigo original sobre os padrões de herança nas ervilhas do gênero *Pisum*, publicado em 1866. O objetivo do presente artigo é discutir sobre essa contribuição, seu contexto e desdobramentos. Esta pesquisa levou à conclusão de que embora a contribuição de Mendel tenha se destacado pela sua metodologia, que envolvia matemática, estatística e noções sobre a divisão celular, resultantes de uma formação diferente da maioria de seus colegas naturalistas, suas investigações inserem-se numa linha de pesquisa bastante ativa na época. E, além disso, tem-se que, considerar que o desenvolvimento da Genética durante o século XX, além de sua contribuição, são produto de um trabalho coletivo de vários cientistas provenientes de diversos países.

De um modo geral, quando se menciona o nome de Johann Gregor Mendel (1822-1884), ele é imediatamente associado à Genética e às “leis de Mendel”. Na maior parte das vezes, as informações sobre suas contribuições que chegam até nós são as que constam na parte histórica que aparece em alguns livros-texto de Biologia destinados aos diferentes níveis de ensino. Porém, poucas pessoas tiveram a oportunidade de examinar o artigo original de Mendel (1866) ou tomar conhecimento do que ocorreu depois.

Na segunda metade do século XIX, os estudos sobre cruzamentos que produziam

híbridos permaneciam bastante ativos em diferentes países da Europa. Na Inglaterra, Charles Darwin (1809-1882), nas várias edições de sua obra *Origem das espécies*, incluindo a última (1872), comentou sobre os resultados de experimentos desenvolvidos por vários pesquisadores que trabalhavam dentro dessa perspectiva como, por exemplo, Joseph Gottlieb Kölreuter (1733-1806), Carl Friedrich von Gärtner (1772-1850), Max Ernst Wichura (1817-1866) e Charles Viktor Naudin (1815-1899). Foi nessa linha de investigação que se inseriram as contribuições de Mendel.

Os estudos com cruzamentos experimentais de ervilhas não eram uma novidade na época. Outros autores como John Goss e Alexander Seton já haviam se dedicado a eles. Porém, tanto a metodologia como os resultados obtidos por eles foram diferentes dos de Mendel (ZIRKLE, 1951, p. 50; STUBBE, 1972, p. 109). Apesar disso, aparentemente, a comunidade científica não percebeu tal importância, embora o artigo de Mendel (1866) tenha sido citado em diversos livros e artigos sobre hibridação no período anterior a 1900 (SANDLER; SANDLER, 1986, p. 755).

Conforme alguns historiadores da ciência, somente algumas décadas depois da publicação do artigo de Mendel, no início do século XX, época em que começou a se desenvolver a Genética moderna, seu trabalho foi “redescoberto” por Hugo de Vries (1848-1933), Carl Eric Correns (1864-1933) e Erich von Tschermak-Seysenegg (1871-1932). Vários pesquisadores como Wilhelm Ludwig Johannsen (1857-1927), Correns, De Vries e William Bateson (1861-1926), procuraram averiguar a validade dos princípios de Mendel em outros organismos obtendo resultados próximos aos de Mendel. Foi Bateson quem introduziu a versão inglesa do artigo de Mendel, originalmente publicado em alemão, para os povos de **língua inglesa**.

O objetivo deste artigo é colocar em discussão as contribuições de Mendel presentes em sua publicação de 1866, em que ele tratou dos padrões que regem a formação de híbridos em ervilhas do gênero *Pisum* e comentar brevemente sobre seus desdobramentos. Porém, antes disso, consideramos importante oferecer algumas informações sobre a formação de Mendel.

A FORMAÇÃO DE MENDEL

Filho de camponeses, Mendel obteve sua formação inicial e posterior em Filosofia na região que corresponde atualmente à atual República Checa. Em 1843 foi admitido como noviço no Monastério de St Thomas, em Brno. No período compreendido entre 1851 e 1853 estudou na Universidade de Viena. É importante mencionar que du-

rante sua permanência em Viena ele tomou conhecimento dos estudos citológicos desenvolvidos na época por intermédio de seu professor de Fisiologia Vegetal Franz Unger (1800-1870). Hunger estava a par do trabalho desenvolvido por Karl Nägeli (1817-1891) e Mathias Schleiden (1804-1881) sobre as células. Durante esse período, Mendel estudou Matemática e Estatística com Christian Doppler e Andreas Freiherr von Ettinghausen (1796-1878), disciplinas em que teve excelente desempenho. Também atuou como demonstrador no Instituto de Física em Viena o que o familiarizou com o enfoque experimental adotado na Física, que não fazia parte da formação da maioria de seus colegas naturalistas (OLBY, 1966, p. 113).

Em 1856, ele iniciou seus experimentos com ervilhas no monastério de Brno e os concluiu em 1863. Porém, somente dois anos depois (1865) apresentou seus resultados à Sociedade de História Natural de Brno, publicando-os em alemão no ano seguinte (1866).

O ARTIGO SOBRE PLANTAS HÍBRIDAS

Ao iniciar seu artigo, Mendel comentou sobre o resultado das investigações feitas por outros hibridistas que também haviam sido mencionados por Darwin, como Kölreuter, Gärtner e Wichura e da busca até então infrutífera por uma lei que governasse a formação de híbridos. Embora soubesse que, para atingir esse objetivo, seria necessário estudar diferentes ordens de vegetais, restringiu-se ao estudo de ervilhas do gênero *Pisum*.

Mendel não escolheu o material experimental de modo aleatório. Ele procurava plantas cujo cultivo fosse fácil e que pudessem se desenvolver em um curto período de tempo, o que se aplicava às ervilhas. Baseou-se também em outros critérios. Em primeiro lugar, as características que diferenciavam as ervilhas deviam ser constantes, ou seja, as linhagens deviam ser puras, sem variabilidade significativa. Nesse sentido, ele testou, durante dois anos, a constância de características de 34 variedades de **ervilhas** do gê-

A tradução do artigo de Mendel para a língua inglesa feita por C. T. Druery foi publicada inicialmente em 1901 no Journal of the Royal Horticultural Society. Em 1902, ela foi reproduzida no livro Mendel's principles of heredity: a defence, de Bateson, com algumas modificações. Essa última versão, reproduzida na segunda edição de Mendel's principles of heredity de Bateson (1913), é a utilizada neste artigo.

Segundo Mendel, a maioria pertencia à espécie *Pisum sativum*, enquanto outras pertenciam às espécies independentes, como *Pisum quadratum*, *Pisum saccharatum* e *Pisum umbellatum* (MARTINS, 2002, p. 30).

nero *Pisum*. Em segundo lugar, era preciso que a fecundação das plantas fosse controlada com o impedimento da entrada de pólen estranho. Em terceiro lugar, que os híbridos preservassem sua fertilidade nas diversas gerações (MENDEL 1866/BATESON, 1913, p. 337).

Dentre as 34 variedades de ervilhas que foram testadas e que cumpriam os critérios acima, Mendel selecionou 22 para realizar seus experimentos. O principal objetivo era averiguar como as características que diferiam nos progenitores, em sucessivas gerações, eram transmitidas aos descendentes. Para isso, escolheu algumas características que não variavam de modo contínuo, tais como: sementes maduras lisas ou enrugadas; a cor do endosperma das sementes (amarelo pálido, amarelo brilhante e laranja, ou verde); a coloração da casca (branca, cinza, cinza-marrom ou marrom, com ou sem manchas de cor violeta, por exemplo).

Ele sabia que, mesmo nas ervilhas, nem sempre as características eram herdadas de modo descontínuo pois observara em alguns casos que nos híbridos apareciam algumas características intermediárias em relação aos progenitores, como a forma e o tamanho das folhas, por exemplo.

Somente na produção dos primeiros híbridos utilizou a polinização artificial. As gerações seguintes foram produzidas por autofecundação. Propôs então os termos “dominante” e “recessivo” quando na época utilizavam-se os termos “preponderante” e “latente”. Em suas palavras:

*“A partir de agora, neste artigo, os caracteres que são transmitidos sem nenhuma ou pouca alteração na hibridação e que, portanto, constituem os caracteres do híbrido, são chamados de **dominantes**, e os que se tornam latentes no processo, **recessivos**”.* (Mendel 1866/Bateson, 1913, p. 342)

No decorrer do artigo, foi indicando quais seriam as características dominantes ou recessivas encontradas nos primeiros híbridos. Porém, ao referir-se às diversas gerações, não utilizou a notação F_1 , F_2 – que foi introduzida mais tarde, no século XX, por Bateson.

Ao analisar o resultado do cruzamento da geração produzida a partir dos primeiros híbridos (segunda geração), Mendel constatou que, de um modo geral, em cada 4 plantas, 3 exibiam a característica dominante e 1 exibia a característica recessiva. Embora outros hibridistas já houvessem se deparado com essa proporção, não haviam atribuído importância à mesma.

Na geração seguinte, observou que 1/3 dos que mostravam a característica dominante produziam todos os descendentes iguais; enquanto 2/3 possuíam descendentes variáveis e eram, portanto, híbridos (MENDEL 1866/BATESON, 1913, p. 348).

Mendel explicou que, ao longo das gerações, os híbridos continuavam a produzir descendentes na mesma proporção de 2: 1: 1 e introduziu uma notação que continua a ser utilizada atualmente com algumas modificações. Para representar os híbridos, utilizava a notação Aa , porém, para representar as linhagens puras, utilizava A e a e não AA ou aa , como passou a ser utilizado posteriormente no século XX.

Procurou também investigar se, no caso de várias características diferentes estarem envolvidas, podia-se aplicar, nos híbridos, o mesmo tipo de princípio a cada par de caracteres. Nesse sentido, realizou duas séries de experimentos. Uma em que as linhagens iniciais diferiam por forma da semente e cor do endosperma; e outra em que, além disso, diferiam também pela cor da casca. No primeiro caso, utilizou plantas com sementes redondas (A – dominante) e endosperma amarelo (B – dominante) cujas flores eram fecundadas com pólen de outras plantas com sementes enrugadas (a – recessivo) e endosperma verde (b – recessivo).

Constatou que todos os híbridos (do que foi chamado mais tarde de F_1) tinham sementes redondas e amarelas. Na geração seguinte (que mais tarde foi chamada de F_2), Mendel observou que o número de plantas com sementes redondas era três vezes maior do que o número com sementes enrugadas e o número com endosperma amarelo era também três vezes maior do que com endosperma verde. Estudando a geração posterior (mais tarde chamada de F_3), pôde



detectar quantas das plantas da geração F_2 eram puras ou híbridas, chegando à conclusão de que a distribuição de características em F_2 obedecia à seguinte proporção:

AB, Ab, aB e ab – formas puras: 1

ABb, aBb, AaB, Aab – formas híbridas para um dos caracteres: 2

AaBb – formas híbridas para os dois caracteres: 4

Ele representou o resultado pela fórmula:

$$AB + Ab + aB + ab + 2ABb + 2aBb + 2AaB + 2Aab + 4AaBb$$

Mendel indicou que o resultado era exatamente o que se esperaria **combinando** as expressões:

$$A + 2Aa + a$$

$$B + 2Bb + b$$

ou seja, apareciam todas as combinações possíveis, nas proporções esperadas (MENDEL 1866/BATESON, 1913, p. 353). Algo semelhante ocorreu na série de experimentos com três caracteres distintos (MENDEL 1866/BATESON, 1913, p. 354-5), ou seja, ocorria o que passou a ser chamado, mais tarde, de segregação independente de fatores.

A partir dos cruzamentos efetuados, concluiu que era possível obter todas as diferentes combinações dos caracteres dos progenitores. Embora houvesse mencionado a necessidade de procurar as leis que governavam a formação e desenvolvimento dos híbridos no início desse artigo, em nenhum instante Mendel numerou ou identificou suas “leis”. A identificação das “leis de Mendel” foi um trabalho feito posteriormente, no início do século XX.

EXPLICAÇÃO DOS RESULTADOS EM TERMOS CITOLÓGICOS

Além de descrever os padrões encontrados nos resultados dos cruzamentos, Mendel procurou explicar o que ocorria nas células germinativas dos híbridos. Ele havia observado que os híbridos, por autofecundação,

produziam uma parte de descendentes híbridos e uma parte de plantas cuja descendência era constante. Supôs que nos casos de descendência constante isso só poderia ocorrer se o pólen e o óvulo tivessem o mesmo “caráter”. Ele comentou:

*“Devemos, portanto, considerar como certo que **fatores** exatamente iguais devem também estar atuando na produção das formas constantes nas plantas híbridas. Como as várias formas constantes são produzidas em uma planta, ou mesmo em uma flor de uma planta, parece lógica a conclusão de que nos ovários dos híbridos são formados tantos tipos diferentes de células de óvulos, e nas anteras tantos tipos diferentes de células de pólen, quantas são as formas possíveis de combinação; e que essas células do óvulo e pólen concordam em sua composição interna com as das formas separadas”* (MENDEL 1866/BATESON, 1913 p. 356-357).

Para explicar os resultados obtidos, Mendel supôs que era possível que fossem formados todos os tipos de óvulo e de pólen em números iguais. Em seguida, para testar tal hipótese, realizou a fertilização artificial de híbridos com pólen de plantas puras e fertilização de plantas puras com pólen de híbridos, prevendo as proporções que deveriam resultar em cada cruzamento. Por fim, concluiu:

“Experimentalmente, portanto, foi confirmada a teoria de que os híbridos de ervilha formam células de óvulos e de pólen que, em sua constituição, representam em números iguais todas as formas constantes que resultam da combinação dos caracteres unidos na fertilização”. (Mendel 1866/Bateson, 1913, p. 361)

Após finalizar os experimentos com ervilhas, estudou a produção de híbridos em outros vegetais como os resultantes do cruzamento de *Phaseolus nanus* com *Phaseolus vulgaris*, por exemplo. Porém, em alguns casos encontrou resultados mais complexos que demandavam explicação diferente das aplicadas às ervilhas (veja MATIOLI; EGGER, nesta edição).

O termo que Mendel utilizava e que comumente é traduzido por “fator” era a palavra alemã “Anlage”, que significa aptidão, capacidade, potencialidade. (MARTINS, 2002, p. 34).

Se multiplicarmos a primeira dessas expressões pela segunda, obteremos a expressão acima, com uma diferença: aparecerão termos A^2 , B^2 , a^2 , b^2 com A, B, a e b – ou, se quisermos, AA, BB, aa e bb – como na notação que utilizamos atualmente (ver MARTINS, 2002, p. 33).



CONCLUSÕES

O trabalho de Mendel inseria-se numa linha de pesquisa bastante ativa em sua época e, além dessa pesquisa, introduziu novos elementos em relação às propostas de seus coetâneos e antecessores. Tais inovações incluem, dentre outros aspectos, a metodologia que envolve Matemática e Estatística resultantes de uma formação diferente da maioria dos naturalistas de sua época, bem como noções sobre a divisão celular. Esta última permitiu a proposta de um modelo microscópico diferente da maioria daqueles encontrados durante o século XIX, que não estavam relacionados a um estudo citológico (POLIZELLO ; MARTINS, 2012).

Embora sejam mencionados os “redescobridores” de Mendel, na prática, quem se dedicou realmente ao teste dos padrões encontrados por Mendel nas ervilhas, tanto em animais como plantas, procurando também explicar os desvios e exceções, foi William Bateson. Foi ele quem, ao traduzir o trabalho de Mendel para o inglês, o tornou acessível aos povos de língua inglesa. Além disso, propôs a terminologia “alelo”, “homozigoto”, “heterozigoto” e a notação “F1”, “F2”, empregada para se referir às diversas gerações. Bateson empregou inicialmente os termos “caracteres unitários”, “fatores” e mais tarde “gene”. O termo gene só foi cunhado no final da década de 1900 por Johannsen que também introduziu tantos os termos como os conceitos de “genótipo” e “fenótipo”. Até então se utilizava o termo “caracteres” para se referir tanto ao material contido no núcleo dos gametas como às características externas visíveis.

A relação entre os estudos citológicos e os princípios de Mendel e a vinculação dos caracteres hereditários aos cromossomos foi feita somente algumas décadas depois, no início da década de 1900, com a chamada “hipótese cromossômica de Sutton e Boveri” (MARTINS, 1999). Porém, na época, como havia muitos problemas e poucas evidências que a corroborassem, foi rejeitada por muitos cientistas como, por exemplo, Thomas H. Morgan (1866-1945), Bateson e Johannsen.

No que pese o valor, originalidade e relevância da contribuição de Mendel, devemos lembrar que o empreendimento científico resulta de um trabalho coletivo que inclui contribuições de vários indivíduos envolvendo acertos e erros, o que se aplica ao caso da Genética.

REFERÊNCIAS

- BATESON, W. Mendel's principles of heredity: a defense. In: Punnett, R. C. (ed.). *Scientific papers of William Bateson*. Cambridge: Cambridge University Press, 1902. v. 2, p. 4-28.
- BATESON, W. *Mendel's principles of heredity*. 2nd. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1913.
- MARTINS, L. A.-C. P. Did Sutton and Boveri propose the so-called “Sutton-Boveri chromosome hypothesis?” *Genetics and Molecular Biology*, v. 22, n. 2, p. 261-271, 1999.
- MARTINS, L. A.-C. P. Bateson e o programa de pesquisa mendeliano. *Episteme*, v. 14, p. 27-55, 2002.
- MENDEL, G. Experiments in plant hybridisation. Trad. C. T. Druery. In: Bateson, W. *Mendel's principles of heredity*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1913. p. 335-79.
- OLBY, R. C. *Origins of Mendelism*. London: Constable, 1966.
- POLIZELLO, A.; MARTINS, L. A.-C. P. Modelos microscópicos de herança no século XIX. *Filosofia e História da Biologia* v. 7, n. 2, p. 137-155, 2012.
- SANDLER, I. & SANDLER, L. On the origin of Mendelian genetics. *American Zoologist* v. 26, n. 3, p. 753-768, 1986.
- STUBBE, H. *History of genetics: from prehistoric times to the rediscovery of Mendel's laws*. 2nd ed. Trad. Trevor Waters. Harvard: The MIT Press, 1972.
- ZIRKLE, C. The knowledge of heredity before 1900. In: Dunn, L. C. (ed.). *Genetics in the 20th century*. New York: McMillan, p. 35-57, 1951.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece o apoio recebido da FAPESP e do CNPq que viabilizaram esta pesquisa.